

UNIVERSITÉ DE BORDEAUX

FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE

1928-1929. — N° 95

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE

DE LA

DOSIMÉTRIE BIOLOGIQUE DES RAYONS X

(Travail du Centre régional de lutte contre le Cancer de Bordeaux et du Sud-Ouest.

Directeur : Professeur RÉCHOU).

THÈSE POUR LE DOCTORAT EN MÉDECINE

présentée et soutenue publiquement le Vendredi 26 juillet 1929

PAR

Charles-Floris WANGERMEZ

INTERNE DES HÔPITAUX DE BORDEAUX,
EX-INTERNE DU CENTRE RÉGIONAL DE LUTTE CONTRE LE CANCER
DE BORDEAUX ET DU SUD-OUEST,
LAURÉAT DES HÔPITAUX (1926-1928).

Né à TOURCOING (Nord), le 2 mars 1902.

Examineurs de la Thèse	}	MM. RÉCHOU, professeur.....	Président.
		TEULIÈRES, professeur.....	} Juges.
		CHARRIER, agrégé.....	
		BEAUVIEUX, agrégé.....	

BORDEAUX

IMPRIMERIE DE L'ACADÉMIE ET DES FACULTÉS
Y. CADORET

3, PLACE SAINT-CHRISTOLY, 3

1929

UNIVERSITÉ DE BORDEAUX
FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE

1928-1929. — N° 95

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE

DE LA

DOSIMÉTRIE BIOLOGIQUE DES RAYONS X

(Travail du Centre régional de lutte contre le Cancer de Bordeaux et du Sud-Ouest.

Directeur : Professeur RÉCHOU).

THÈSE POUR LE DOCTORAT EN MÉDECINE

présentée et soutenue publiquement le Vendredi 26 juillet 1929

PAR

Charles-Floris WANGERMEZ

INTERNE DES HÔPITAUX DE BORDEAUX,
EX-INTERNE DU CENTRE RÉGIONAL DE LUTTE CONTRE LE CANCER
DE BORDEAUX ET DU SUD-OUEST,
LAURÉAT DES HÔPITAUX (1926-1928).

Né à TOURCOING (Nord), le 2 mars 1902.

Examineurs de la Thèse	{	MM. RÉCHOU, professeur.....	Président.
		TEULIÈRES, professeur.....	{ Juges.
		CHARRIER, agrégé.....	
		BEAUVIEUX, agrégé.....	

BORDEAUX
IMPRIMERIE DE L'ACADÉMIE ET DES FACULTÉS
Y. CADORET
3, PLACE SAINT-CHRISTOLY, 3

1929

FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE BORDEAUX

M. SIGALAS..... Doyen.

PROFESSEURS HONORAIRES :

MM. LANELONGUE, POUSSON, MOURE, PRINCETEAU, W. DUBREUILH,
RIVIÈRE, BARTHE, LE DANTEC.

PROFESSEURS :

	MM.		MM.
Clinique médicale.....	VERGER	Zoologie et parasitologie.....	MANDOUL.
id.....	CASSAET.	Médecine expérimentale.....	MAURIAC.
Clinique chirurgicale.....	CHAVANNAZ.	Clinique ophtalmologique.....	TEULIÈRES.
id.....	BÉGOUIN.	Clinique chirurg. infantile et orthopédie..	ROCHER.
Pathologie et thérapeutiques générales...	CARLES.	Clinique gynécologique.....	GUYOT.
Clinique d'accouchements.....	ANDÉRODIAS.	Clinique méd. des maladies des enfants..	CRUCHET.
Anatomie pathol. et microscopie clinique.	SABRAZÈS.	Chimie biologique et médicale.....	DENIGÈS.
Anatomie.....	VILLEMIN.	Physique médicale et pharmaceutique....	SIGALAS.
Anatomie générale et histologie.....	G. DUBREUILH.	Médec. coloniale et clin. des mal. exotiques	BONNIN.
Physiologie.....	PACHON	Clinique des malad. cutanées et syphilitiques	PETGES.
Hygiène.....	AUCHÉ.	Clinique des maladies des voies urinaires.	DUVERGEY.
Médecine légale et déontologie.....	LANDE.	Clinique des malad. nerveuses et mentales.	ABADIE.
Electroradiologie et clin. d'électricité médic.	RÉCHOU.	Clinique d'oto-rhino-laryngologie.....	PORTMANN.
Chimie.....	CHELLE.	Toxicologie et hygiène appliquée.....	LABAT.
Botanique et matière médicale.....	BEILLE.	Hydrologie thérapeutique et climatologie..	SELLIER.
Pharmacie.....	DUPOUY.		

MM. DELAUNAY (Physiologie). MICHELEAU, LEURET, DUPÉRIÉ (Médecine générale).

AGRÉGÉS EN EXERCICE :

	MM.		MM.
Anatomie.....	DUBECQ.	Chirurgie générale.....	PAPIN.
Histologie.....	LACOSTE.	id.....	JEANNENEY.
Anatomie pathologique.....	MURATET.	id.....	CHARRIER.
Parasitologie et sciences naturelles.....	R. SIGALAS.	id.....	LOUBAT.
Médecine générale.....	GREYX.	Obstétrique.....	PERY.
id.....	N.	id.....	FAUGÈRE.
id.....	AUBERTIN.	Ophtalmologie.....	BEAUVIEUX.
id.....	DAMADÉ.	Dermatologie et syphiligraphie.....	JOULIA.
id.....	PIÉCHAUD.	Pharmacie.....	GOLSE.
Maladies mentales.....	PERRENS.		



COURS COMPLÉMENTAIRES :

	MM.		MM.
Clinique dentaire.....	CÁVALIÈ.	Paéiculture.....	N.
Médecine opératoire.....	PAPIN.	Démonstrations et préparations pharmac.	N.
Accouchements.....	FAUGÈRE.	Pharmacie chimique.....	GOLSE.
Ophtalmologie.....	CABANNES.	Zoologie et parasitologie.....	R. SIGALAS.

Orthopédie chez l'adulte, pour les accidentés du travail, les mutilés de guerre et les infirmes. MM. N.

Cours complémentaire annexe. — Prothèse et rééducation professionnelle..... GOURDON

Par délibération du 5 août 1879, la Faculté a arrêté que les opinions émises dans les Thèses qui lui sont présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, et qu'elle entend ne leur donner ni approbation ni improbation.

A MA FEMME

A MON PERE

A MA MERE

A MES SŒURS ET A MES BEAUX-FRÈRES

A MES BEAUX-PARENTS

A MES PARENTS ET AMIS

A MES CAMARADES DE L'INTERNAT

A MONSIEUR LE PROFESSEUR GUINCHANT

*Professeur de physique générale à la Faculté des sciences de Bordeaux,
Officier de l'Instruction publique.*

A MONSIEUR LE PROFESSEUR HENRI VERGER

*Professeur de Clinique médicale à la Faculté de médecine
de Bordeaux,
Médecin des Hôpitaux,
Chevalier de la Légion d'honneur,
Croix de guerre,
Officier de l'Instruction publique.*

Par votre enseignement si logique et
si clair, vous m'avez fait aimer la neuro-
logie.

Recevez ici, mon Cher Maître, mes
plus vifs et plus respectueux remercie-
ments.

A MONSIEUR LE PROFESSEUR GUYOT

*Professeur de Clinique gynécologique à la Faculté de médecine de Bordeaux,
Chirurgien des Hôpitaux,
Membre correspondant de la Société de chirurgie,
Chevalier de la Légion d'honneur,
Décoré de la Croix de guerre et de l'Ordre de Sainte-Anne de Russie,
Officier de l'Instruction publique.*

A MES MAÎTRES DES HOPITAUX

Stage :

MESSIEURS LES PROFESSEURS GUYOT ET ROCHER
MONSIEUR LE DOCTEUR BOUSQUET

External :

MESSIEURS LES PROFESSEURS CHAVANNAZ ET VERGER
MONSIEUR LE PROFESSEUR AGRÉGÉ CREYX

Internal :

MONSIEUR LE PROFESSEUR RÉCHOU.
MONSIEUR LE DOCTEUR DEBEDAT

A MONSIEUR LE PROFESSEUR FOCH

*Professeur de Physique expérimentale à la Faculté des sciences de Bordeaux
Chef du Service de physique au Centre régional
de lutte contre le cancer de Bordeaux et du Sud-Ouest.
Chevalier de la Légion d'honneur,
Officier de l'Instruction publique.*

Vous qui aimez tant la précision dans les mesures et les expériences, mon Cher Maître, peut-être allez-vous être déçu en lisant ce travail; j'ai voulu me placer dans les conditions de mesures radiothérapiques pratiques. Je m'en excuse, certain à l'avance d'avoir toute votre indulgence.

A MONSIEUR LE PROFESSEUR J. SABRAZES

*Professeur d'anatomie pathologique et microscopie clinique
à la Faculté de médecine de Bordeaux,
Correspondant national de l'Académie de médecine.
Médecin du centre régional de lutte contre le cancer de Bordeaux
et du Sud-Ouest,
Médecin-chef du Service des contagieux,
Chevalier de la Légion d'honneur,
Officier de l'Instruction publique.*

Respectueux hommage.

A MONSIEUR LE PROFESSEUR CHAVANNAZ

*Professeur de Clinique chirurgicale à la Faculté de médecine de Bordeaux
Chirurgien des Hôpitaux,
Chirurgien du Centre régional de lutte contre le cancer de Bordeaux
et du Sud-Ouest,
Correspondant national de l'Académie de médecine
et de la Société de chirurgie de Paris,
Chevalier de la Légion d'honneur,
Décoré de la Médaille interalliée et de la Médaille de la Victoire,
Officier de l'Instruction publique.*

L'accueil bienveillant que vous m'avez réservé dans votre service et l'intérêt que vous avez bien voulu me témoigner depuis le début de mes études médicales m'ont profondément touché. Croyez, mon Cher Maître, à ma respectueuse reconnaissance.

A MONSIEUR LE PROFESSEUR AGRÉGÉ JEANNENEY

*Chirurgien des Hôpitaux,
Chirurgien adjoint du Centre régional de lutte contre le cancer de Bordeaux
et du Sud-Ouest,
Croix de guerre.*

Enseigneur admirable, vous êtes de ceux qu'on ne se lasserait pas d'écouter. Au cours de vos leçons cliniques au lit du malade, trop courtes, hélas! à notre gré, j'ai toujours appris quelque chose, même quand je croyais bien connaître la question. Recevez ici, mon Cher Maître, l'hommage respectueux d'un élève dévoué.

A MON PRÉSIDENT DE THÈSE

MONSIEUR LE PROFESSEUR RÉCHOU

*Professeur d'électroradiologie et de clinique d'électricité médicale,
Directeur du Centre régional de lutte contre le cancer
de Bordeaux et du Sud-Ouest,
Docteur ès sciences,
Chevalier de la Légion d'honneur,
Croix de guerre,
Officier de l'Instruction publique.*

Ce que je voudrais dire ici, mon Cher Maître, ne s'exprime pas ou s'exprime mal par des mots. Vous vous êtes intéressé à mon avenir et à mes études avec une attention telle que je ne sais comment vous remercier. Veuillez trouver ici, mon Cher Maître, l'expression de ma respectueuse gratitude et de mon entier dévouement.

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE

DE LA

DOSIMÉTRIE BIOLOGIQUE DES RAYONS X

INTRODUCTION

S'il est actuellement un chapitre de la physique radiologique en pleine évolution, c'est bien celui de la dosimétrie quantitative biologique. Tous les jours, après plusieurs années de controverses ardues et parfois passionnées, les méthodes physiques de mesure, et en particulier la méthode ionométrique, se perfectionnent. Une unité absolue fixe, et acceptée par tous, permettra dans quelques temps aux radiologistes du monde entier de parler le même langage et de se comprendre plus facilement. En ce qui concerne les rapports des doses déterminées physiquement et des effets biologiques, la controverse est encore ouverte et chacun en est à chercher pour lui-même une équivalence physico-biologique sans pouvoir se servir des chiffres donnés par les différents auteurs. Les grandes variations de la dose érythème, variations qui, en partie, sont dues à la méconnaissance des facteurs qui entrent en jeu lorsqu'on la détermine dans certaines conditions, mais qui, pour une part, sont dues également à une susceptibilité spéciale des individus, l'ont fait depuis longtemps abandonner au Centre de lutte contre le cancer de

Bordeaux. La brûlure du premier degré qui la caractérise a été avantageusement remplacée par une unité biologique plus précise, plus fixe, et qui nous paraît constante chez tous les individus dans des limites biologiques convenables à condition de tenir compte de tous les facteurs agissants qui seront étudiés plus loin. Nous avons nommé la dose de radio-épidermite caractérisée par une brûlure du second degré avec chute de l'épiderme.

Nous n'avons pas dans cette thèse l'ambition ni la prétention de donner des chiffres absolus caractérisant les doses biologiques. Disposant uniquement, au début de notre travail, de l'ionomètre de Solomon, nous nous sommes borné à faire des mesures relatives qui n'ont de valeur que pour notre appareil propre, mais qui, cependant, nous ont permis de tracer des courbes donnant l'allure générale des phénomènes constituant les causes d'erreurs et qui nous ont donné en même temps une valeur approchée de l'erreur que nous pouvions commettre dans la mesure des doses biologiques au Centre du cancer. Chacun peut reproduire ces différentes mesures avec l'appareil de Solomon qu'il a à sa disposition.

Ce travail était déjà bien avancé quand il nous a été donné de faire quelques mesures absolues avec un appareil de Dauvillier étalonné en unités Roentgen, électrostatiques. Ces mesures nous ont permis de préciser les notions que nous possédions sur les inconvénients et les avantages respectifs des appareils de Solomon et de Dauvillier.

Nous tenons à préciser que nous n'avons pas fait de mesures de laboratoire mais que nous avons déterminé avec le plus de précision possible des chiffres tels que ceux obtenus pratiquement par le médecin radiothérapeute sur son malade ou immédiatement avant le traitement.

Ce travail ne s'adresse donc pas aux physiciens, il est écrit pour les médecins qui, au cours de leurs traitements radiothérapiques, ne veulent pas se contenter de l'à peu près et qui essaient de réaliser le plus de précision possible dans la mesure où l'art médical le permet.

PREMIÈRE PARTIE

LA QUANTITOMÉTRIE PHYSIQUE

CHAPITRE PREMIER

HISTORIQUE DES METHODES DE MESURES

I. — Méthodes chimiques.

Avant 1900, le seul moyen de mesurer la quantité de rayonnement émis par un dispositif quelconque était la connaissance du milliampérage et du voltage ou de l'étincelle équivalente. Le premier progrès fut réalisé par l'apparition des méthodes colorimétriques basées sur la variation de coloration de certaines substances sous l'influence des rayons X. Holzkecht, le premier, définit l'unité H par le virage, du vert à un brun déterminé par un test colorimétrique, d'un mélange de carbonate de sodium et de sulfate de potassium. Un peu plus tard Sabouraud et Noire, utilisant l'effet Villard, définissent une nouvelle unité par le virage d'une pastille de platino-cyanure de baryum du jaune vert clair à un brun déterminé appelé teinte B. Ce virage était obtenu par une quantité de rayons X provoquant la chute des cheveux. Des mesures comparatives faites avec les deux unités montrèrent rapidement que l'on pouvait poser :

Teinte B de Sabouraud = 5 H de Holzkecht.

D'autres méthodes chimiques qui, actuellement, ont perdu droit de cité furent aussi employées. Nous ne ferons que les rappeler : Noircissement du papier photographique utilisé

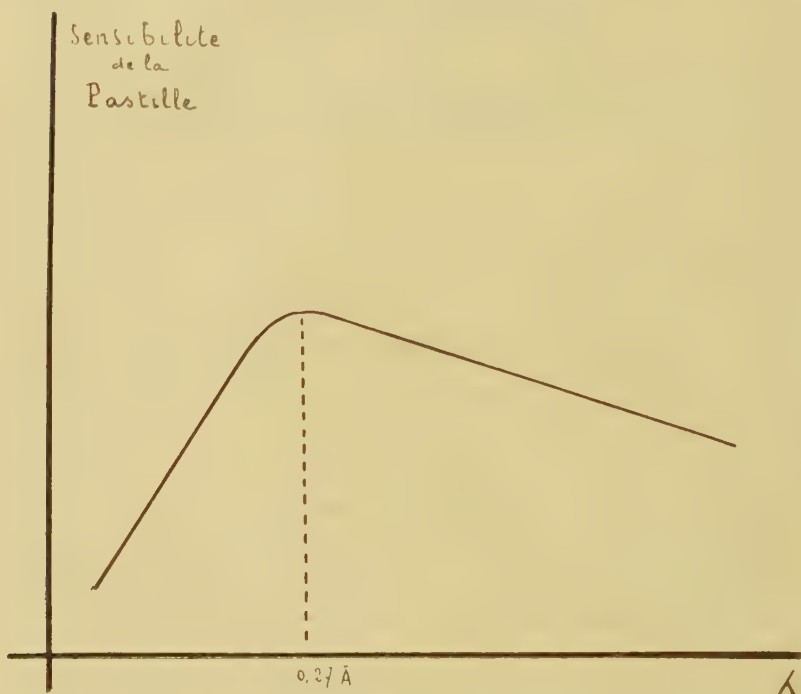


FIG. 1.

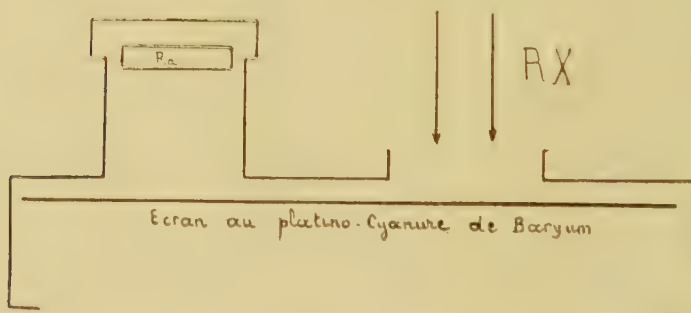


FIG. 2.

par Kienboeck définissant l'unité X tel que $10 X = 5 H$; la précipitation de l'iode, et enfin la formation de calomel.

Actuellement, seules les pastilles de Sabouraud et Noire

et celles de Holzkecht sont encore utilisées. On sait que le rapport signalé plus haut n'existe plus quand on utilise des rayons filtrés comme ceux de la radiothérapie pénétrante, Wucherpfennig (*in Strahlentherapie*, 1927), insistait encore récemment sur ce fait que pour faire des dosages en unités II on est obligé d'indiquer la longueur d'onde employée. La pastille présente en effet une sensibilité maximum pour $\lambda = 0,27$ unités Angström; cette sensibilité diminue lentement pour des longueurs d'ondes plus longues et rapidement pour des longueurs d'ondes plus courtes (Fig. 4).

II. — Méthodes physiques.

Les méthodes chimiques de mesure ne tardèrent pas à être remplacées par des méthodes plus précises basées sur les pro-

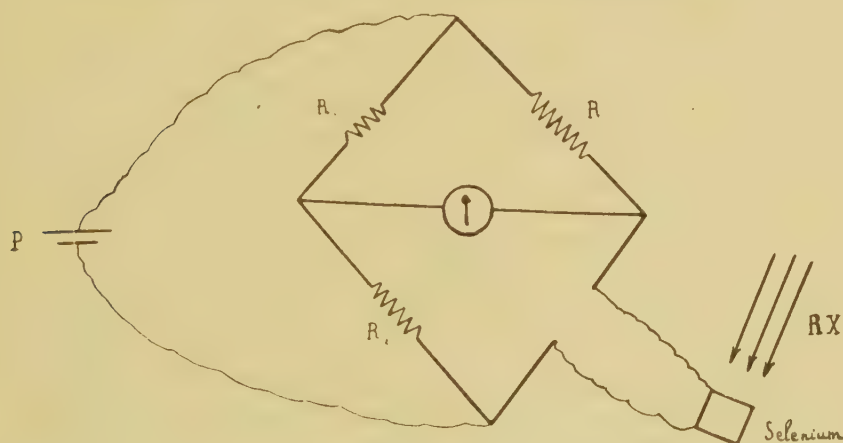


FIG. 3.

priétés physiques des rayons X. L'idéal serait de posséder un instrument basé sur les effets thermiques. Dans le cas du spectre solaire, il suffit d'absorber le rayonnement dans une mince couche de noir de fumée appliquée sur une lame holo-métrique; l'énergie radiante est intégralement transformée en chaleur. Malheureusement, il n'existe pas de corps analogue au corps noir pour les rayons X et le plomb qui est le plus absorbant émet encore un rayonnement secondaire important.

Différentes propriétés physiques des rayons X furent employées en dosimétrie

1° *Fluorescence*. — On compare la fluorescence produite par les rayons X à celle du radium. Un appareil simple représenté par la figure 2 fut construit par Guilleminot. La technique en est simple : il suffit de viser l'anticathode et de s'avancer ou reculer jusqu'à égalité d'éclairement. La méthode définit l'unité M.

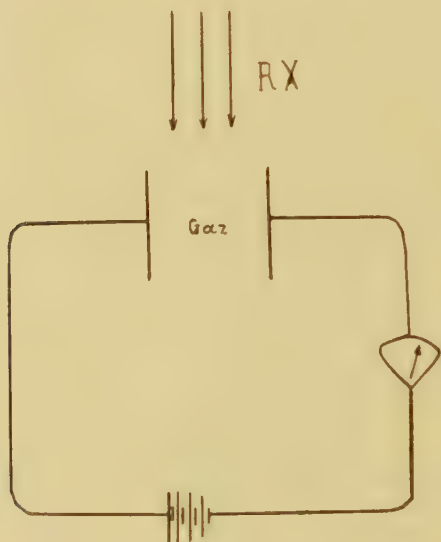


FIG. 4.

2° *Variation de conductibilité sous l'influence des rayons X* (Méthode de Fursteneau). — On place une cellule de sélénium sur un bras de pont de Wheatstone (Fig. 3), on mesure ainsi facilement la variation de résistance.

3° *Méthodes ionométriques*. — Le principe en est très simple. Etant donnée une masse située entre deux électrodes, à l'état normal ce gaz est isolant parfait.

Si on y fait tomber un faisceau de rayons X, le gaz devient conducteur et un courant passe dans le galvanomètre. Ce courant d'ionisation n'obéit pas à la loi d'Ohm. Supposons la source de rayons X constante et représentons l'intensité du

courant d'ionisation en fonction du voltage, nous obtenons une courbe comme celle de la figure 5. Dans les champs faibles, I est proportionnelle à V , la loi d'Ohm est vérifiée. Pour des champs plus intenses ($V = 80$ à 100 volts), on a : $I = C^{te} =$ courant de saturation et ceci quel que soit V . Pour des potentiels atteignant 300 volts, on a de nouveau accroissement et I est proportionnelle à V , le gaz est devenu bon conducteur et

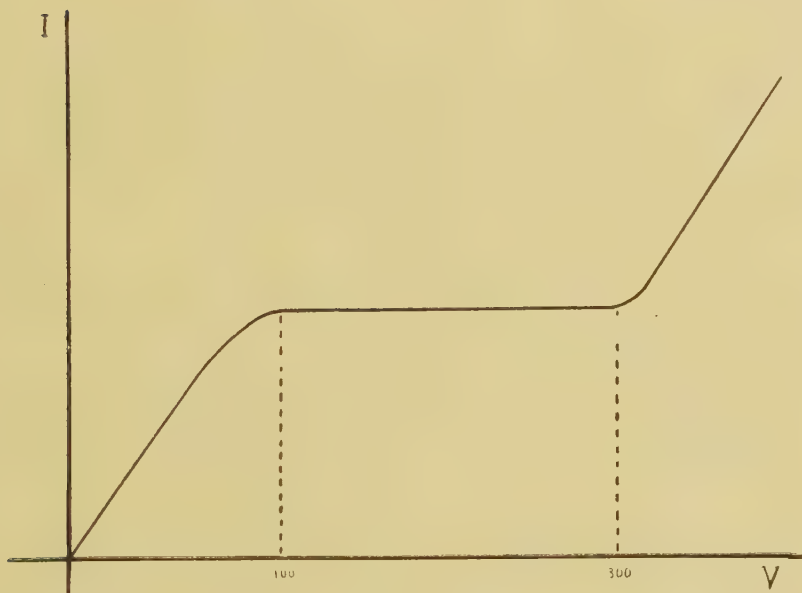


Fig. 5.

on a une décharge électrique entre les plateaux. Ceci pour une surface et une distance donnée des deux électrodes.

Quand le courant de saturation est réalisé, tous les ions sont attirés par les électrodes. Si, à ce moment, on fait varier l'intensité de la source radiante, le courant d'ionisation varie dans le même sens. Ces conditions étant remplies, l'intensité du courant d'ionisation est proportionnelle à l'intensité de la source radiante. En effet, tous les ions formés sont alors attirés sur les électrodes et, soit N le nombre d'ions formés

par la source par seconde et par centicube, le nombre d'ions formés dans tout le volume sera donc :

$$n = N_1 S \times D. \text{ par seconde.}$$

S = Section = Surface des électrodes;

D = distance des électrodes.

La quantité d'électricité libérée par seconde s'en déduit immédiatement.

$$q \text{ par sec.} = i = q \times n = qN_1SD.$$

On voit que i est indépendant du voltage.

Remarquons que ce courant de saturation est proportionnel à la distance des électrodes ce qui est l'inverse de la loi d'Ohm. Enfin si S et D sont des constantes, on a :

$$\frac{I}{I} = \frac{N'}{N}$$

On a bien proportionnalité entre les intensités et les nombres d'électrons libérés.

La méthode ionométrique obtint rapidement un immense succès et à l'heure actuelle elle est à peu près universellement employée. On crut tout d'abord que le problème était définitivement résolu, mais deux grandes difficultés allaient surgir qui, actuellement, sont à peine écartées : la première ayant trait à la définition de l'unité ionométrique; la deuxième à la détermination de l'appareil le plus apte à donner de façon pratique des mesures précises et toujours comparables à elles-mêmes.

CHAPITRE II

LES UNITES IONOMETRIQUES

On peut, de deux façons complètement différentes et presque opposées, définir une unité ionométrique (1). L'une, celle de Solomon, consiste en la comparaison du rayonnement X à un étalon radioactif. On définit alors l'unité R comme « l'intensité de rayonnement de Roentgen produisant la même ionisation pendant une seconde que 1 gramme de radium placé à 2 centimètres de la chambre d'ionisation d'axe en axe et filtré sur 0 mm. 5 de platine ». Cette unité appelée R Solomon ou R français a l'avantage d'être une unité constante, pratique, facilement reproduite. Nous verrons plus tard qu'elle possède un énorme défaut qui oblige actuellement les radiologistes à l'abandonner.

D'une façon toute différente, il est possible de définir une unité dite absolue physiquement irréprochable et qu'on peut rattacher au système C. G. S. La définition en fut donnée pour la première fois par le physicien Villard : « L'unité électrostatique de rayonnement X est la quantité de rayons qui libère une unité électrostatique (2) par centicube d'air dans les conditions normales de température et de pression. »

(1) Nous ne parlerons pas de l'unité énergétique de Dauvillier, nous ne voulons pas faire ici une étude complète des unités, mais montrer la raison des divergences dans l'appréciation des doses biologiques.

(2) L'unité ESCGS = $\frac{1}{3 \times 10^{10}}$ UEMCGS = $\frac{1}{3 \times 109}$ ampère. On a donc environ 1 UESGCS = $0,33 \times 10^{-9}$ ampère, l'unité choisie est donc directement rattachable au système pratique international.

Les différentes unités allemandes ne sont que des variantes de cette unité primitive.

Les auteurs qui voulurent faire usage de cette unité se heurtèrent à de nombreuses difficultés pratiques et les chiffres trouvés, par exemple, pour l'expression d'une dose biologique étaient des plus discordants. Gunsett, en janvier 1927, dans son rapport au Congrès de Constantine, cite les chiffres suivants pour la dose érythème déterminée en unités électrostatiques :

Duane, 4.700 R;

Szilard, 4.360 R;

Freedrich, 470 R.

Ce dernier trouvait donc un chiffre dix fois plus petit que Duane.

Une commission nommée en Allemagne résolut de définir une *unité électrostatique vraie* et le fit de la façon suivante :

« L'unité absolue de rayonnement X est la quantité de rayons X qui produit, dans 1 centimètre cube d'air, une quantité d'électricité qui *mesurée à courant de saturation* est égale à une unité électrostatique; la mesure étant faite à 18 degrés et sous 760 millimètres de Hg. *L'énergie totale des radioélectrons libérés dans l'air étant utilisée et l'effet paroi étant éliminé.* »

Par cette définition, apparaissaient en les éliminant les causes d'erreur qui semblaient avoir provoqué les divergences. Les physiciens et les radiologistes en possession des deux unités définies plus haut, d'une part l'R français par étalon radioactif, d'autre part l'R allemand ou électrostatique, essayèrent de déterminer le rapport de ces deux unités.

Après les publications de Kaplan, Grebe qui trouvaient $1 \text{ Ra} = 2,25 \text{ Rf}$. Gunsett en janvier 1927 donne pour 3 ionomètres Solomon différents un rapport variant entre 3,32 et 3,5. Son élève Reiss donne à la même époque des chiffres variant de 2,8 à 3,1 suivant la longueur d'onde. Trois mois plus tard à peine, Murdoch et Stahel donnent des chiffres

variant de 2,4 à 4,5. Solomon ayant critiqué les expériences de ces deux auteurs, ils répondent à leur tour en octobre 1927 et montrent que 2 ionomètres Solomon ne sont pas comparables entre eux quand on fait varier la longueur d'onde.

Brusquement, une nouvelle attaque arrive d'Amérique contre l'unité électrostatique. Otto Glasser dans quatre mémoires successifs publiés dans *Strahlentherapie* montre des différences de 90 p. 100 obtenues avec plusieurs appareils étalonnés en Allemagne. Devant ces résultats, Glasser, dans un article paru dans *Strahlentherapie*, au début de l'année 1928, reconnaît la supériorité de l'étalonnage au radium et préconise l'adoption de l'ionomètre de Solomon avec modification de la chambre et de la distance (1 cm. 37), 1 cm. 37, donnant à l'R français une valeur à peu près égale à celle de l'R allemand.

Cependant, en Allemagne, Behnken, Grebe exposent leur méthode d'étalonnage. Glasser expose la sienne et on s'aperçoit finalement que le désaccord provenait du manque de contrôle des appareils transportés. Des travaux publiés depuis il semble cependant ressortir que le rapport $\frac{R_f}{R_a}$ varie avec la longueur d'onde.

Sans méconnaître l'utilité d'une vérification de la constance d'un appareil de mesure par le radium, on s'aperçoit peu à peu que l'effet paroi impossible à éliminer dans les conditions d'étalonnage en R Solomon est trop important et qu'un ionomètre étalonné avec du radium donne des mesures entachées d'erreur pour les grandes longueurs d'ondes. Aussi, au Congrès de Stockholm, un vœu est émis en faveur de l'adoption de l'unité R électrostatique ou R allemand qu'on désigne par la lettre *r*.

L'unité choisie, la tâche n'était pas terminée. Est-il possible d'étalonner tous les appareils de mesure en *r* électrostatique ou Roentgen et peut-on ensuite déterminer les doses biologiques avec un appareil quelconque? C'est ce que nous allons maintenant envisager.

CHAPITRE III

ETUDE CRITIQUE DES APPAREILS DE MESURES EN VUE DE L'EVALUATION DES DOSES BIOLOGIQUES

Nous n'avons pas l'intention de décrire dans ce chapitre tous les ionomètres en usage, ce serait sortir du cadre de notre sujet; nous allons nous borner à quelques notions indispensables pour bien comprendre l'influence de l'instrument de mesure pour la détermination d'une dose biologique. Pour faire de bonnes mesures, il faut un appareil réalisant plusieurs conditions :

1° La lecture de la dose doit être facile, en un mot l'appareil doit être sensible et sans fuite spontanée;

2° La chambre d'ionisation doit être indépendante de l'effet paroi. On sait que le rayonnement frappant les parois de la chambre donne naissance à des électrons supplémentaires qui viennent fausser les résultats en augmentant l'ionisation;

3° Cette chambre doit utiliser tous les photoélectrons produits;

4° Cette chambre doit être aussi indépendante de l'effet direction. Nous remarquerons que seule une chambre sphérique reçoit toujours la même quantité de rayons quelle que soit son orientation, ceci dans le cas d'une petite chambre. Dans le cas d'une grande chambre, on n'a pas à s'occuper de cette condition;

5° Nous verrons enfin que si on passe de la théorie à la pratique, la chambre d'ionisation doit pouvoir se placer sur le malade au cours du traitement radiothérapique. C'est là une condition indispensable pour doser les effets biologiques.

I. — Les dispositifs de lecture.

La mesure de la conductibilité du gaz qui est beaucoup plus petite que celles des liquides ne peut se faire dans la plupart des cas à l'aide d'un galvanomètre ordinaire.

Soit en effet un galvanomètre sensible à 10^{-9} ampères.

Il faudrait, pour réaliser un tel courant, une résistance égale à :

$$R = \frac{V}{10^{-9}}$$

Si $V = 400$ volts.

On obtient :

$$R = \frac{400}{10^{-9}} = 4 \times 10^{11} = 400.000 + 10^6 \text{ ohm} \\ = 4.000.000 \text{ megohms.}$$

En général, la résistance est beaucoup plus forte et on est obligé de se servir de la méthode électrométrique.

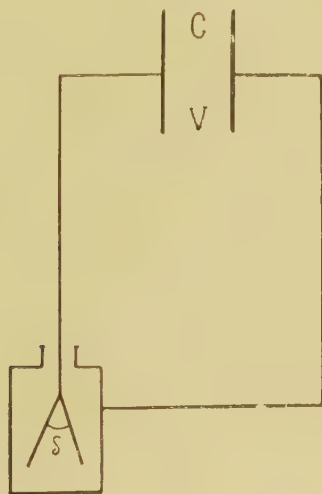


FIG. 6.

On trace la courbe $V = f(\delta)$.

Puis on irradie le gaz placé en C. Il s'établit un courant entre les électrodes et les feuilles tombent, on a :

$$i = \frac{dQ}{dt} = \frac{Cdv}{dt} = \frac{C [f(\delta_1) - f(\delta_2)]}{t_1 - t_2}$$

On connaît i et v .

On a donc :

$$\text{Conductibilité} = \frac{1}{\rho} = \frac{i}{v} \times \frac{l}{s},$$

l étant la distance des électrodes et s leur surface.

On sait, en effet, que :

$$V = RI$$

d'où :

$$R = \frac{V}{I},$$

ou :

$$\rho = \frac{l}{s} \times \frac{V}{I},$$

d'où :

$$\rho = \frac{V}{I} \times \frac{s}{l}.$$

Par des artifices, en augmentant le voltage ou en remplaçant, comme l'a fait Dauvillier, l'air ionisé par un gaz lourd tel que le Xenon qui donne un courant d'ionisation près de 1.000 fois plus intense, on a pu réaliser la lecture directe avec un galvanomètre ordinaire et ce avec une petite chambre. Cette dernière façon de procéder a l'avantage d'être rapide et de permettre le contrôle fréquent de la constance de l'irradiation en cours du traitement, elle a le défaut de ne pas donner la quantité totale de rayonnement qui doit être déterminée en multipliant l'intensité par le temps.

Le dispositif électrométrique au contraire est un dispositif totalisateur permettant d'enregistrer la quantité totale de rayons reçues par un malade au cours d'un traitement. Elle a un gros inconvénient, c'est la possibilité de décharges spontanées et de fuites, ces dernières pouvant d'ailleurs être éliminées en traçant au préalable une courbe de fuite.

$$\delta = f(t).$$

II. — Les différentes chambres d'ionisation,

Théoriquement, les seules chambres indépendantes de l'effet paroi et utilisant toutes les photoélectrons produits sont des grandes chambres d'ionisation. Kustner a montré que les électrons primaires libérés dans l'air par un faisceau de radiations ont un parcours libre de près de 70 centimètres pour les courtes. Les chambres construites d'après ce principe avaient des dimensions vraiment prohibitives. On peut tourner la difficulté en réalisant des chambres à air comprimé; le parcours des électrons étant inversement proportionnel à la pression. Des recherches plus récentes de Holthusen semblent montrer qu'à mesure que la longueur d'onde diminue, l'ionisation est de plus en plus provoquée par les électrons de recul de Compton au détriment des électrons de l'absorption sélective. Or on sait que les électrons de recul ont une trajectoire beaucoup plus courte que les photoélectrons. Il en résulte qu'une grande chambre du type Kustner de dimensions raisonnables peut nous donner des mesures théoriques très précises. Elle nous permet d'étalonner avec précision un dispositif d'émission de rayons X. Malheureusement, pour les besoins journaliers de la pratique radiothérapique l'étalonnage de l'appareil émetteur ne permet pas de tenir un compte exact du rayonnement diffusé qui, comme nous le verrons plus loin, varie avec chaque individu. Il faut au cours du traitement pouvoir placer la chambre d'ionisation au niveau de la peau du malade et mesurer le rayonnement total reçu incident et diffusé. En pratique, la chambre d'ionisation idéale sera donc une petite chambre.

Nous remarquerons immédiatement que l'effet paroi augmentant à mesure que la longueur d'onde diminue, il est impossible de manier avec précision une chambre étalonnée au radium, les ondes courtes du radium donnant au moment de l'étalonnage un effet paroi trop intense, lorsque la même chambre est ensuite placée dans un rayonnement beaucoup moins pénétrant de la radiothérapie courante, les mesures sont enla-

chées d'erreur en ce qui concerne les grandes longueurs d'onde et en particulier dans la mesure du rayonnement diffusé. C'est là le gros défaut de la chambre de l'ionomètre de Solomon qui, jusqu'à ces derniers temps était étalonnée avec du radium. La supériorité de la chambre de Dauvillier provenait de ce fait que étalonnée à 200 kv., elle était pratiquement indépendante de cet effet paroi et par conséquent de la longueur d'onde employée.

Les petites chambres, quelles qu'elles soient conservent toujours l'inconvénient d'arrêter les électrons dans leur parcours et de ne pas absorber complètement l'énergie libérée.

Le seul moyen pour réaliser actuellement un appareil à la fois pratique et précis, c'est d'adopter un appareil de mesure à petite chambre d'ionisation et d'étalonner cette dernière à l'aide d'une grande chambre de Kustner. Quel appareil à petite chambre allons-nous choisir. Nous pensons que ce choix n'a pas une importance fondamentale. On peut, comme l'on fait Gunsett et Mme Spack à Strasbourg, étalonner en unités électrostatiques la chambre de Solomon. Cet ionomètre a l'avantage d'être un instrument totalisateur en grande capacité, mais chacun sait les inconvénients de la présence constante d'une chambre d'ionisation au centre d'un champ irradié. Le plus souvent, en effet, l'ionomètre de Solomon sert non pas à vérifier la dose sur le malade, mais à pratiquer l'étalonnage de l'appareil émetteur de rayons X avant le traitement. Nous verrons plus loin que c'est là une source d'erreur dans l'évaluation des doses physiques nécessaires pour obtenir un effet biologique déterminé. Nous ajouterons enfin que la forme cylindrique de la chambre de Solomon place les mesures sous la dépendance de la direction de cette chambre par rapport au plan dans lequel on veut les pratiquer.

On peut aussi faire étalonner en unités électrostatiques, et c'est ce que M. le Professeur Réchon a réalisé à Bordeaux, un appareil de Dauvillier. Par sa chambre d'ionisation sphérique indépendante de la direction, par la lecture immédiate de l'intensité sur un galvanomètre ordinaire permettant de donner

de nombreux coups de sonde au cours d'un traitement ce qui ne serait pas possible avec la chambre de Solomon, ce dernier appareil nécessitant dans les traitements radiothérapiques ordinaires plusieurs minutes pour mesurer la chute de la feuille en petite capacité. Le dosimètre de Dauvillier étalonné en unités Roentgen électrostatiques semble actuellement l'appareil idéal pour la pratique courante.

DEUXIÈME PARTIE

LA QUANTITOMÉTRIE BIOLOGIQUE

CHAPITRE PREMIER

LES UNITES BIOLOGIQUES

I. — Les premières unités radiologiques.

Les premières unités qui furent employées en roentgenthérapie étaient en réalité des unités biologiques déguisées. Holzkmecht avait en effet défini l'unité H comme le $1/3$ de la quantité de rayons X provoquant sur le visage un léger érythème fugace tout en fixant son étalon par la variation de couleur de sa pastille. La teinte B de Sabouraud et Noire de son côté est égale à la dose réalisant l'épilation. La pratique radiothérapique montre rapidement que dans des conditions fixes données (toutes choses étant égales d'ailleurs comme disent les chimistes) la dose d'épilation est à peu près constante chez tous les individus. Il n'en est pas de même du léger érythème fugace de Holzkmecht qui laisse une part un peu trop large au facteur personnel d'appréciation.

II. — La dose érythème.

Dès 1913, Kroenig et Friedrich puis un peu plus tard Seitz et Wintz, définissaient la dose érythème comme étant la quantité de rayons X nécessaires pour produire, trois semaines

après l'irradiation, une *légère rougeur* de la peau persistant une semaine et suivie de pigmentation. Ils appelèrent leur unité H E D, encore utilisée actuellement en Allemagne. De nombreuses déterminations de dose érythème en fonction d'unités physiques ont été pratiquées un peu partout. Nous donnons à titre indicatif les principaux résultats. Gunsett dans son rapport au Congrès de Constantine, janvier 1927, donne les chiffres suivants :

Miescher, de Zurich, trouve des résultats variant de 20 p. 100 suivant les individus; Leddy et Weatherwax trouve 50 à 55 p. 100 d'écart; Grebe et Martius publient leurs résultats avec des variations de même ordre.

Les chiffres provenant des diverses universités allemandes varient de 285 à 970 unités r électrostatiques. Il résulte de ces recherches que la dose érythème jamais acceptée en France semble ne pas exister. Depuis le début de 1927, de nombreux travaux publiés semblent appuyer cette assertion.

Glasser et Meyer qui avaient donné en 1926 le chiffre de 220 r électrostatiques donnent en 1927 un chiffre de 1300 r en tenant compte du rayonnement diffusé et un chiffre de 900 r pour le rayonnement dans l'air.

Hess donne le chiffre de 700 r , mais croit son chiffre variable avec la longueur d'onde. Kustner, de son côté, publie les chiffres trouvés par 12 chefs de service. Ces chiffres varient de 465 à 624 unités r . Carlstein, en 1928, détermine la dose érythème en unités r et la trouve constante pour tous les individus. Sievert, un mois plus tard, donne des chiffres variant de 700 à 400 r suivant le filtre. Pour terminer, Gunsett détermine la dose érythème en ergs et la trouve égale à :

24.500 ergs avec l'appareil de Friedrich;

245.000 ergs avec l'appareil de Duane;

250.000 ergs avec l'appareil de Solomon.

On sait que d'autre part Dauvillier donne le chiffre de 30.000 ergs comme équivalent de la dose érythème.

Devant des résultats aussi contradictoires, on est évidem-

ment embarrassé pour accorder sa confiance à une telle unité.

S'il est évident que beaucoup de ces mesures sont entachées d'erreur par le fait de la méconnaissance d'un certain nombre de facteurs entrant dans la détermination de cette dose comme nous le verrons plus loin il n'en reste pas moins vrai que ces divergences sont dues en grande partie au facteur personnel très important dans l'appréciation d'une telle unité. Nous pensons qu'il est préférable de la remplacer par un autre étalon dont nous allons maintenant nous occuper.

III. — La dose épidermicide.

S'il est difficile d'apprécier objectivement un érythème qui peut être modifié par un réflexe vasculaire plus ou moins anormal ou par réactions inflammatoires, il n'en est pas de même de la dose épidermicide, dose de destruction épidermique avec brûlure du second degré.

Si l'on recherche dans un service hospitalier cette dose épidermicide, on est frappé des variations qu'elle présente (en particulier quand on l'évalue en unité R. Solomon et après étalonnage simple de l'appareillage) chez les différents individus et même suivant les régions irradiés. Il n'en est plus de même lorsqu'on fait entrer en ligne de compte tous les facteurs agissant et surtout lorsque les mesures sont faites dans des conditions que nous préciserons plus loin.

Nous ne voulons pas dire par là qu'on doive atteindre chez tous les cancéreux cette dose de radioépidermite, mais nous pensons qu'on peut lui donner un équivalent fixe en unités *r* électrostatiques, compte tenu du rayonnement diffusé, mesuré pour chaque malade. Ceci étant précisé on peut se contenter de faire, au niveau de chaque champ irradié, 50 à 80 p 100 de cette dose suivant les cas.

CHAPITRE II

ETUDE DES FACTEURS AGISSANTS POUR L'OBTENTION DE LA REACTION DE RADIOEPIDERMITE ET DES DOSES BIOLOGIQUES EN GENERAL

L'expérience montre, et tous les radiothérapeutes savent actuellement, qu'un effet biologique au niveau de la surface cutanée dépend d'un certain nombre de facteurs. Nous pensons qu'on peut écrire, en appelant D la dose susceptible de produire la réaction cutanée cherchée :

$$D = f(i, t, d, S, e, \lambda),$$

i représentant l'intensité dans l'ampoule;

t représentant le temps d'irradiation;

d représentant la distance focus-peau;

S représentant la surface du champ irradié;

e représentant l'épaisseur de tissus sous-jacente au champ irradié;

λ représentant la longueur d'onde.

On connaît depuis longtemps l'influence du temps (quantité du rayonnement proportionnel au temps d'irradiation), on connaît également l'influence de la distance (loi des intensités inversement proportionnelles au carré de la distance). Les autres facteurs, sauf la longueur d'onde qui a suscité de nombreux travaux, ont été souvent négligés. Quelques auteurs ont pourtant tenu compte de la grandeur de la surface irra-

diée, mais ce dans des conditions absolument particulières. Nulle part on n'a tenu compte dans la détermination des doses biologiques de l'épaisseur de tissus irradiés. Nous avons essayé par des mesures grossières sans doute, mais suffisantes dans la pratique courante, de déterminer l'importance *relative* des différents facteurs de la fonction D.

I. — Quantité de rayonnement et intensité.

Les mesures ont été faites à l'aide d'un ionomètre de Solomon dans les conditions suivantes :

Tension constante, 200 kv;

$d = 30$ cm.;

Champ non limité;

Filtre nul;

Epaisseur irradiée, 20 cm. d'eau.

On a obtenu le tableau suivant :

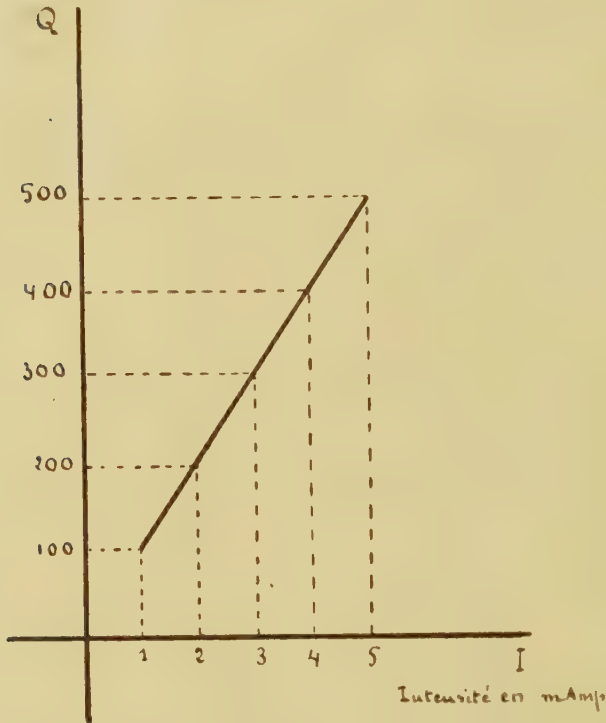
TABLEAU I.

INTENSITÉ EN MILLIAMP.	2	2 1/2	3	3 1/2	4	4 1/2
Quantité de Rayonnement en R SOLOMON pendant un temps fixé	190	260	312	365	420	445

La loi est donc à peu près linéaire et aux erreurs d'expérience près peut être représentée par la figure n° 7.

Ces mesures faites sans localisateur et sur 20 centimètres

d'eau mettent en jeu un rayonnement diffusé important comme nous le verrons plus loin. Ce rayonnement diffusé vient atténuer les différences de quantités qui pourraient ré-



Quantité de rayonnement en fonction
de l'intensité

FIG. 7.

sulter des variations de self résultant elles-mêmes de la variation d'intensité sans qu'il y ait forcément proportionnalité entre ces deux variations.

II. — Quantité de rayonnement en fonction du voltage.

Nous avons pratiqué les mesures dans les conditions suivantes (1).

Surface irradiée, 30 cm²;

Filtre = 1 mm. al.;

Distance = 30 cm.;

Epaisseur = 5 cm. d'eau;

$i = 4$ m. Amp.;

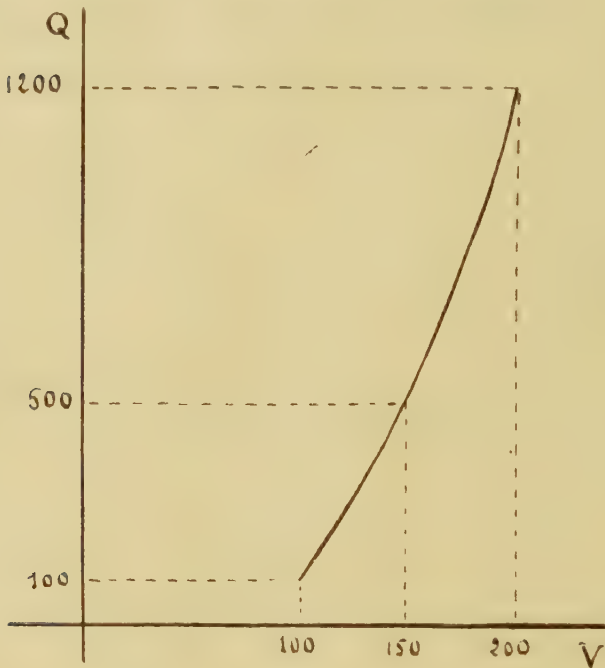
la faible épaisseur de tissus et le petit champ diminuant l'importance du rayonnement diffusé, on a obtenu les résultats suivants :

TABLEAU II.

VOLTAGES EN K V	100	150	200
Quantité de radiations en R SOLOMON pendant un temps t.....	100	500	1200

(1) Nous avons, pour chaque série de mesures, fait varier un seul facteur en conservant les autres constants. Il est évident, qu'en réalité, ces facteurs se combinent et que nos courbes ne représentent d'une façon absolue que l'allure du phénomène.

Les résultats sont représentés par la figure 8.



Quantité de Rayonnement en fonction
du Voltage.

FIG. 8.

III. — Quantité de rayonnement en fonction de la filtration.

Conditions des mesures :

T C	=	200 kv;
Champ	=	infini;
d	=	30 cm.;
i	=	4 m. Amp.;
Epaisseur	=	3 cm.

Les résultats obtenus peuvent se grouper dans le tableau suivant :

TABLEAU III.

FILTRE EN MM. DE CU	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5
Intensité en R SOLO- MON pendant un temps t	1208	415	240	193	168	153	131	112	88	70

Les résultats sont représentés par la figure 9.

C'est une courbe connue depuis très longtemps sur laquelle nous n'insisterons pas. Notons seulement en passant qu'au point de vue pratique il est inutile de dépasser 2 millimètres de Cu. Pour des filtrations plus fortes on n'arrête plus qu'une quantité insignifiante de rayon, la filtration est à peu près uniquement devenue quantitative de qualitative qu'elle était pour les grandes longueurs d'onde. Le faisceau est devenu homogène et le filtre supplémentaire ne fait qu'en diminuer la quantité sans en modifier la qualité.

De l'ensemble des 2 courbes tracées sur l'influence du voltage et de la filtration nous pouvons tirer quelques conclusions intéressantes.

Saget a montré (*Journal de radiologie*, 1923) que l'étude de la filtration permet de déterminer les longueurs d'ondes les plus longues constituant la limite inférieure du faisceau émis.

Ses chiffres sont les suivants :

0,5 mm. de Cu	$\lambda_m = 0,2$	unités Angstrom
1 mm. de Cu	$\lambda_m = 0,18$	id.
2 mm. de Cu	$\lambda_m = 0,15$	id.
3 mm. de Cu	$\lambda_m = 0,125$	id.
4 mm. de Cu	$\lambda_m = 0,11$	id.

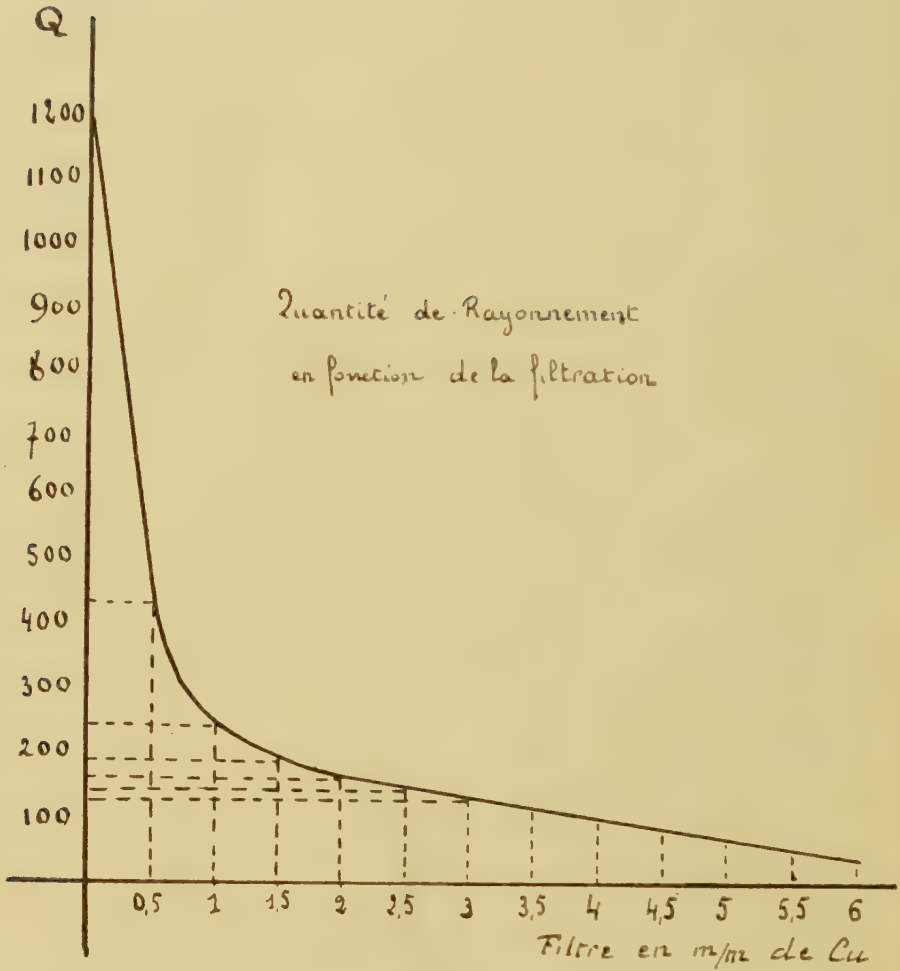


FIG. 9.

On sait d'autre part calculer la limite supérieure du même faisceau par la formule bien connue :

$$\lambda^0 \text{ (en A)} = \frac{12340}{V \text{ (volts)}}$$

ce qui donne :

pour 100 Kv	$\lambda_o = 0,123;$
pour 150 Kv	$\lambda_o = 0,082;$
pour 200 Kv	$\lambda_o = 0,061.$

Nous avons fait des mesures comparatives avec un ionomètre de Solomon étalonné au radium et un dosimètre de Dauvillier étalonné en unités r électrostatiques, les résultats obtenus sont contenus dans le tableau 4.

Nous obtenons comme rapport de l'unité électrostatique à l'unité Solomon : 2,4, 2,8 et 3,9. Nous ne donnons pas ces chiffres comme absolus, nos mesures ayant été faites comme dans la pratique courante, c'est-à-dire avec une erreur variant entre 5 et 10 p. 100; cependant, ces chiffres nous permettent d'affirmer que ce rapport est variable avec la longueur d'onde.

TABLEAU IV.

	F C = 100 KV F = 1 mm. Cu comprise entre 0,12 0,18 A	F C = 150 KV F = 2 mm. Cu comprise entre 0,08 0,15 A	F C = 200 KV F = 3 mm. Cu comprise entre 0, 0.
Quantité donnée par l'ionomètre SOLOMON en R SOLOMON	120	510	1200
Quantité de r électrostatique donnée par la DAUVILLIERS étalonnée en r électrostatique (1).	56	181	308

IV. — Quantité de rayonnement en fonction de l'épaisseur de tissus irradiés.

Les mesures ont été faites dans les conditions suivantes :

TC = 200 Kv;

D = 40;

F = 1 mm. de cuivre.

(1) MM. Dauvillier, Laborde et Saget : Sur la réalisation de l'unité r internationale, *Bulletin et mémoire de la Société de radiologie médicale de France*, Paris, mai 1929, 17^e année, n° 159, p. 448-450.

EPAISSEUR EAU EN CM	5	10	15	20
Quantité de rayonne- ment en 1 temps t sur- face 25 cm ²	280	350		450
Quantité de rayonne- ment en 1 temps t sur- face 70 cm ²	410	530	620	700

Nous remarquons que l'effet dû à l'épaisseur de tissus irradié augmente avec la grandeur du champ et la figure 10 re-

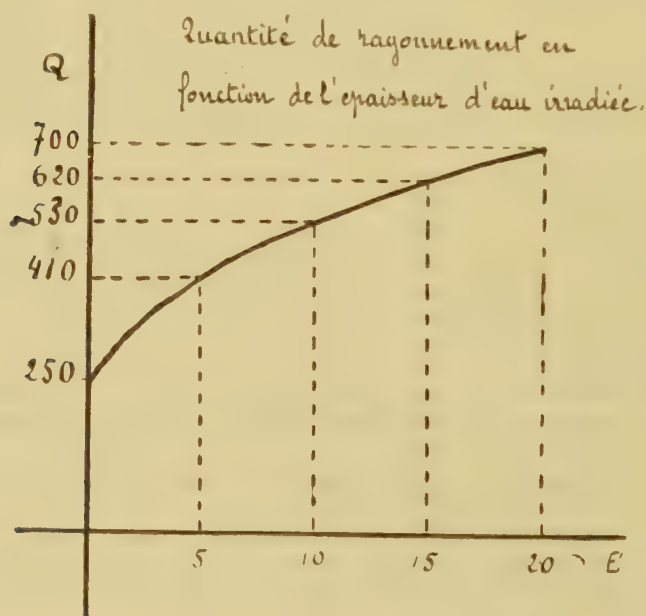


FIG. 10

présente schématiquement les résultats obtenus pour une surface de 70 centimètres carrés.

Le rayonnement diffusé tend vers une limite à mesure que l'épaisseur augmente. Remarquons que pour 70 centimètres

carrés de surface, le rayonnement passe de 440 à 700 soit 43 p. 100 dans les conditions réalisées et ce avec une chambre Solomon étalonnée au radium.

Sans vouloir faire de précision mathématique, on voit que le rapport $\frac{dQ}{de}$ décroît à peu près proportionnellement à l'épaisseur e .

On peut poser :

$$\frac{dQ}{de} = \frac{K}{e}$$

d'où :

$$dQ = K \frac{de}{e},$$

et :

$$Q = K \int \frac{de}{e} = KLe$$

La quantité de rayonnement s'évalue donc en fonction de l'épaisseur des tissus irradiés par une fonction logarithmique.

V. — Quantité de rayonnement en fonction de la surface du champ irradié.

Conditions des mesures :

TC = 200 kv.;

D = 40 cm.;

F = 3 mm. de Cu;

I = 4 m. Amp.;

Epaisseur de tissus = 20 cm.

TABLEAU DES RÉSULTATS OBTENUS.

SURFACE EN CM	70	100	200	250	300
Quantité Cu R SOLO- MON pendant un temps t	700	780	990	1050	1090

La figure 11 représente ces résultats :

Notons que quand on passe d'une surface de 70 centimètres carrés à 250 centimètres carrés, c'est-à-dire à peu près trois

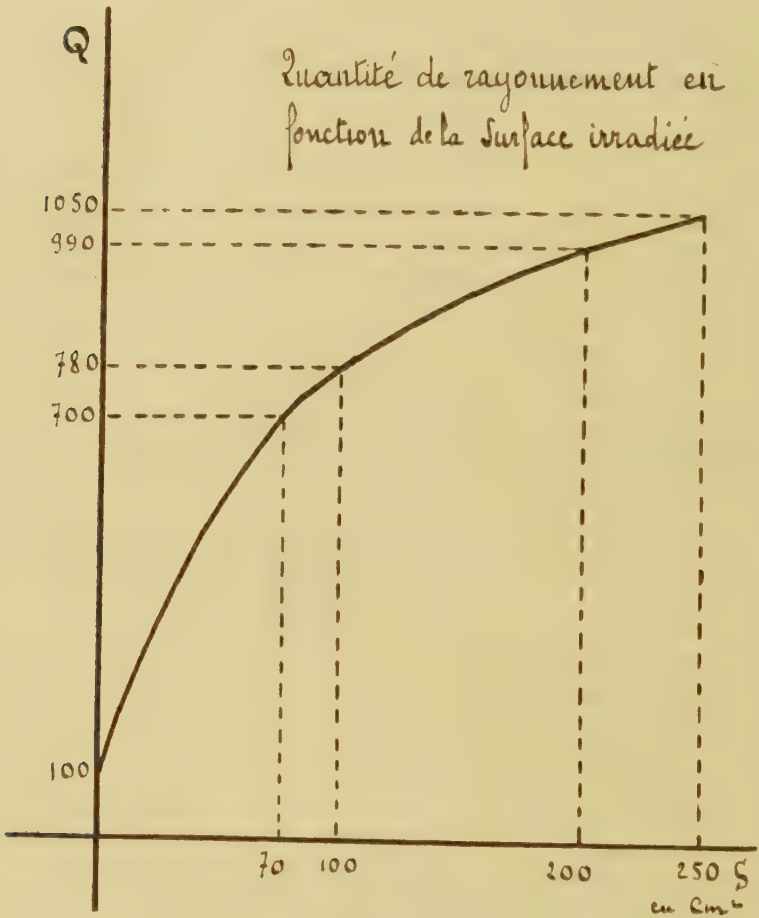


FIG. 11

fois plus grande, le rayonnement passe de 700 à 1.050, c'est-à-dire augmente d'environ 50 p. 100 de la quantité initiale.

Le dosimètre de Dauvillier nous a donné dans les mêmes conditions, pendant un temps différent 750 r pour un champ de 150 centimètres carrés avec augmentation à 1.300 r électrostatiques

pour une surface de 300 centimètres carrés. Nous remarquons immédiatement que le rayonnement diffusé semble plus intense avec le dosimètre de Dauvillier. Nous ne pouvons interpréter

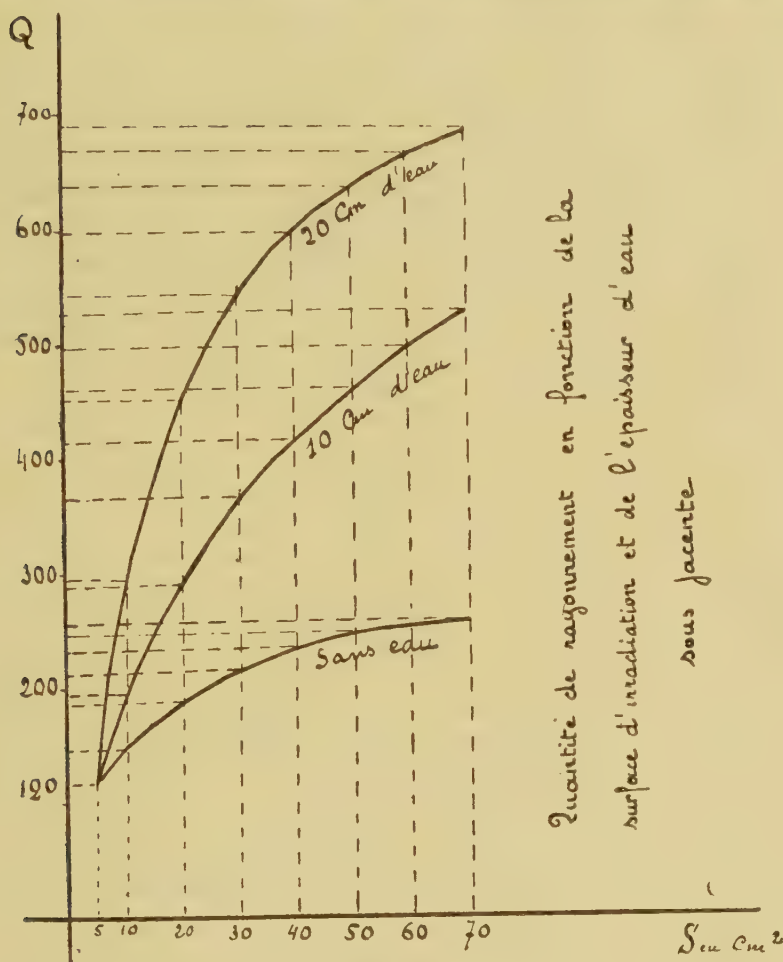


FIG. 12

ce fait qu'en admettant un manque de sensibilité de l'appareil de Solomon pour les grandes longueurs d'onde de ce rayonnement diffusé. Nous avons déjà vu plus haut que pour les courtes longueurs d'ondes la comparaison des deux appa-

reils de mesure donne un rapport voisin de 2 tandis qu'il est voisin de 3,5 pour les rayons pénétrants. C'est une preuve de plus du manque de sensibilité de l'ionomètre de Solomon pour les rayons mous.

La figure 12 représente la variation de la quantité de rayonnement; quand la surface varie de 5 centimètres carrés à 70 centimètres carrés, elle complète la figure 11.

Remarquons que même sans eau sous-jacente la quantité de rayonnement mesurée augmente avec la surface. Ce rayonnement est dû au rayonnement secondaire naissant au niveau de l'air contenu dans le cône d'irradiation sus-jacent à la zone traitée.

Nous pouvons pour la figure 11 répéter le même raisonnement que nous avons fait précédemment; on a :

$$\frac{dQ}{dS} = \frac{K}{S}$$

$$dQ = \frac{K dS}{S},$$

et :

$$Q = K \int \frac{dS}{S} = K \ln S.$$

On obtient encore une fonction logarithmique. Notons que toutes les courbes représentant la quantité de rayonnement en fonction de la surface doivent passer par l'origine. Il est évident que pour $S = 0$, on a $Q = 0$.

De même, quand la surface augmente indéfiniment, la quantité de rayonnement diffusé tend vers une limite, limite d'ailleurs variable suivant l'épaisseur des tissus sous-jacents.

VI — Quantité de rayonnement en fonction de la longueur d'onde.

Conditions des mesures :

Distance = 40 cm.;

$I = 4$ m. Amp.;

Epaisseur irradiée = 20 cm.

TABLEAU DES RÉSULTATS.

	200 Kv 3 mm. Cu	150 kv 2 mm. Cu	100 kv 1 mm Cu
S = 100 Cu	456	189	50
S = 300 cm ²	684	229	62

Nous avons pratiqué ces mesures à l'aide du Dauvillier, de façon à mesurer tout le rayonnement diffusé; si on calcule les rapports des doses trouvées, on obtient :

$$\begin{array}{ccc} 456 & 180 & 50 \\ 684 & 229 & 62 \end{array}$$

ce qui donne :

$$\begin{array}{ccc} 69 & 80 & 80 \\ 100 & 100 & 100 \end{array}$$

Le rayonnement diffusé semble diminuer légèrement à mesure que la longueur d'onde s'allonge.

CHAPITRE III

LES CONDITIONS DE DETERMINATION PRATIQUE DES UNITES BIOLOGIQUES

Les résultats obtenus et les courbes tracées montrent bien l'importance du rayonnement diffusé dans la détermination d'une dose biologique telle que la dose érythème ou épidermicide. Depuis quelques années déjà on commence à reconnaître l'influence des conditions techniques dans l'évaluation de ces étalons. Wintz, en 1926, publie dans *Strahlentherapie* un article dans lequel il démontre que l'effet Compton semble augmenter l'ionisation sans augmenter l'effet biologique. Il en résulte donc une différence de réaction cutanée suivant la longueur d'onde, et Friedrich, la même année, montre que l'importance de l'effet Compton augmente avec la fréquence de la radiation incidente. Les chiffres de Compton et Simon

pour le rapport $\frac{\text{électrons de recul}}{\text{photoélectrons}}$ sont :

2,7 pour	= 0,17 unités Angstrom
9 pour	= 0,3 d°
17 pour	= 0,2 d°

Auger et Perrin, dans le *Journal de physique* (début 1927), sont d'avis que l'émission des photoélectrons se fait surtout dans la direction d'émission initiale, et Rump trouve que le rayonnement diffusé $\frac{1}{100}$ de la dose incidente dans l'air et peut pratiquement être négligé en dosimétrie.

En réalité nos mesures personnelles nous ont montré que

le rayonnement diffusé atteint une valeur beaucoup plus considérable. De nombreux auteurs se sont occupés de cette question et Xarpell, dès 1926 (*Strahlentherapie*), rappelle l'emploi des blocs de paraffine en radiothérapie pour augmenter la quantité de rayonnement reçu. Bretlander, la même année, trouve que la quantité de rayonnement diffusé est égale à 22 p. 100 de la dose incidente pour un champ de 3 centimètres de diamètre, et égale à 44,8 p. 100 pour un champ de 15×20 .

Glasser, en juillet 1926, reconnaît que les conditions techniques ont un rôle considérable dans la détermination de la dose de rayons X. A la même époque, Glocker et Kaupp estiment le rayonnement diffusé égal à 40 p. 100, tandis que Grebe et Martius donnent le chiffre de 100 p. 100. L'année 1927 est marquée par toute une série de travaux sur la question. Saralegui et Vieheller reconnaissent l'importance du rayonnement diffusé sans donner de chiffre précis. Rajewski indique 26 p. 100 pour un champ de 6×8 et 51 p. 100 pour champ de 20×22 . Au milieu de ces travaux discordants par les chiffres, mais d'accord sur le principe, Miramond de la Roquette vient tout à coup jeter le trouble en publiant ses recherches sur le rayonnement diffusé. Il estime ce rayonnement peu important et susceptible d'être négligé dans les mesures pratiques. Glocker et Kaupp, dans trois communications successives, étudient une chambre indépendante de la longueur d'onde et déterminent le rayonnement diffusé dans les conditions suivantes :

190 kv;

$D = 50$;

$F = 1 \text{ m/m Cu} + 1 \text{ m/m Al}$;

ils obtiennent les résultats suivants :

Chambre d'ionisation immergé, 41 p. 100;

Chambre d'ionisation à moitié immergé, 35 p. 100;

Chambre d'ionisation non immergé, 30 p. 10.

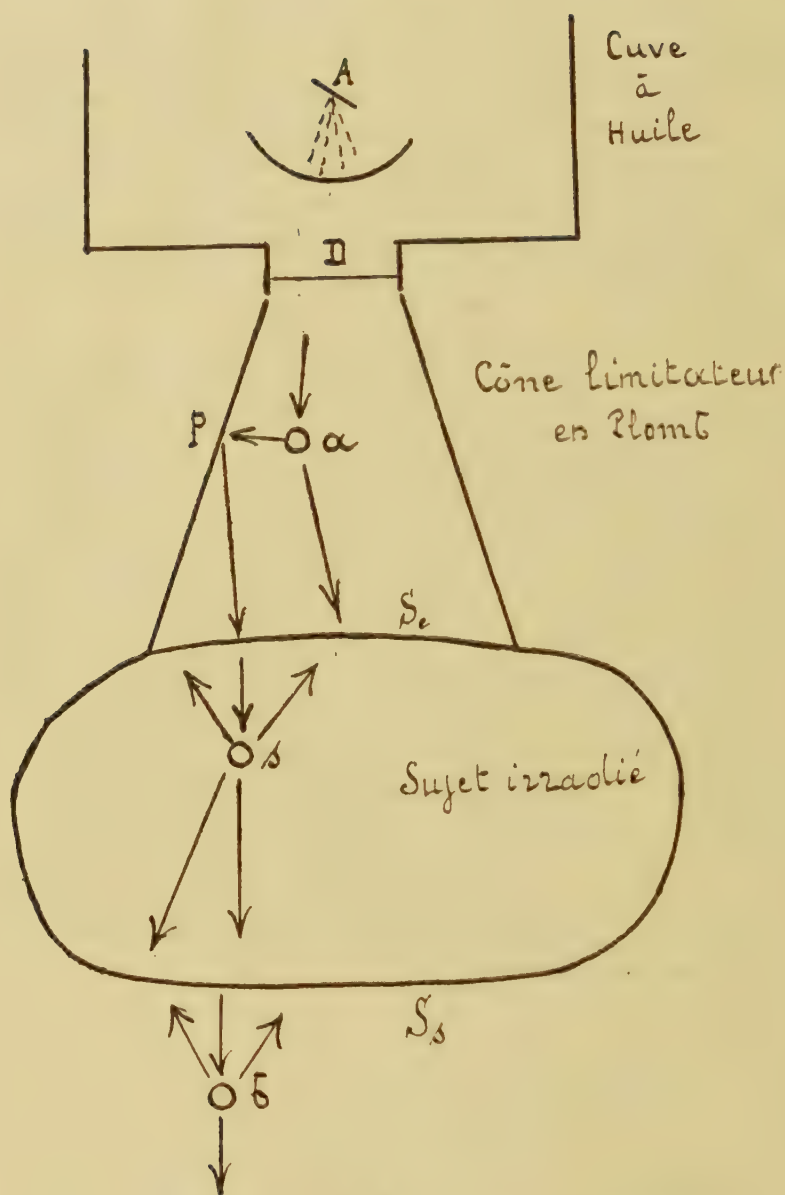


Schéma d'irradiation

Martius, en avril 1928, montre que si l'unité r est physiquement absolue, en pratique elle semble varier avec la dureté du rayonnement et avec la dispersion de retour. Enfin Ponzio, au Congrès de Stockholm (juillet 1928), reprend la question et est d'avis que la dose physique ne fixe pas la dose d'érythème et que cette dernière dépend de la technique employée.

En réalité, au cours d'un traitement radiothérapique pratiqué suivant le schéma de la figure 13 (la dose superficielle déterminant l'action biologique dont dépend l'érythème et le radioépidermite), il faut tenir compte d'un rayonnement diffusé déterminé à la fois par le cône d'air sus-jacent et par les tissus sous-jacents à la surface irradiée, le rayonnement diffusé total étant proportionnel à la surface du champ, suivant une loi logarithmique.

Nous voyons immédiatement l'importance de ce rayonnement diffusé en notant que pour une surface de 70 centimètres carrés la quantité de rayonnement passe de 400 à 700 R Solomon quand l'épaisseur des tissus irradiés passe de 5 à 20 centimètres.

La courbe qui représente la quantité de rayonnement en fonction de la surface nous montre une variation de 700 à 1.050 R Solomon quand la surface passe de 70 à 250 centimètres carrés. La variation du rayonnement est encore plus forte pour les petites surfaces et elle passe de 120 à 700 R Solomon quand la surface passe de 5 à 70 centimètres carrés. Le rayonnement diffusé paraît donc beaucoup plus important que ne l'indiquent les chiffres des différents auteurs. Il nous semble que, dans les cas de grands champs avec une épaisseur de 20 centimètres de tissus irradiés, ce rayonnement diffusé peut atteindre plusieurs fois la valeur du rayonnement incident. La clinique semble en effet nous donner raison; tout le monde sait qu'au niveau d'un petit épithélioma localisé on peut donner des doses considérables de rayons X sans crainte d'accident, tandis que les mêmes doses, ou même des doses beaucoup plus faibles, provoquent des radionécroses

lorsqu'elles sont appliquées sur des champs trop larges. Nous aurions pu essayer de déterminer et donner ici une valeur numérique de ce rayonnement diffusé; on nous reprochera peut-être de ne pas l'avoir fait comme de ne pas avoir donné un équivalent de la dose épidermicide en unité r électrostatique. Nous verrons dans le chapitre suivant les raisons qui nous ont conduit à ne pas agir de la sorte.

CHAPITRE IV

EXPRESSION PHYSIQUE DES UNITES BIOLOGIQUES

Pour exprimer en unités physiques une dose biologique, deux cas absolument différents se présentent en pratique. Dans le premier cas on a réalisé ce qu'on peut appeler un étalonnage d'appareillage par des mesures faites dans l'air. C'est le cas par exemple lorsqu'on place sous l'appareil à rayons X une chambre d'ionisation quelconque et en particulier une chambre telle que celle de Kustner. La mesure étant faite et l'appareillage émetteur étalonné on se replace dans les mêmes conditions de voltage, de filtre et d'intensité et on essaie de déterminer la dose érythème sur un sujet. C'est là une très mauvaise méthode, car elle ne tient pas compte des facteurs étudiés plus haut, ou si l'expérimentateur en tient compte il risque de le faire bien mal, étant donnée la difficulté pratique de la détermination exacte du rayonnement diffusé dans ces conditions.

M. Wolfers, dans son remarquable ouvrage (*Eléments de la physique des rayons X*), définit vers la fin de l'année 1928 l'effet biologique de la façon suivante :

$$D = K \frac{it}{d^2}$$

i = intensité dans le tube;

t = temps d'irradiation;

d = distance focus-peau.

K étant une constante à déterminer par l'expérience pour des conditions fixes. Nous pensons que si on a effectué des mesures dans l'air et si l'on veut calculer avec soin non pas la

dose érythème, que nous avons écartée pour des raisons énumérées plus haut, mais la dose épidermicide, on peut employer une formule analogue à condition d'y ajouter un terme de correction logarithmique donné par les courbes tracées.

Il faut écrire :

$$\text{Effet biologique} = K \frac{it}{d^2} \text{LS} \times \text{Le} = \text{D.}$$

Si un des facteurs vient à varier on déterminera le nouvel effet biologique produit par le rapport des facteurs variables.

Nous n'avons pas voulu déterminer d'équivalence physique par ces méthodes pour deux raisons : la première c'est que ces lois ne sont qu'approchées et que l'action d'un facteur dépend en réalité de la grandeur des autres.

L'épaisseur des tissus, qui par exemple n'a aucune importance dans le cas de petits champs, prend une importance beaucoup plus grande dans les champs larges. La deuxième raison c'est que le rayonnement diffusé varie avec chaque individu. Il suffit d'avoir fait un peu de radioscopie pour voir combien le rayonnement secondaire varie avec chacun. Est-il possible dans ces conditions de donner une équivalence en unités physiques de l'action biologique? Il faut pour cela employer une méthode toute différente de mesure. Il faut mesurer au cours de l'irradiation le rayonnement total (incident + diffusé) reçu au niveau du champ irradié sur l'individu lui-même (1) mais il est indispensable de posséder pour cet usage une petite chambre étalonnée en unités *r* électrostatiques, et non avec du radium. Le dosimètre de Dauvillier nous paraît réaliser le plus grand nombre de conditions pratiques pour cet usage.

(1) Un travail sur la valeur de la dose épidermicide en unités petit *r* électrostatiques déterminé par cette méthode paraîtra incessamment quand le nombre de cas observés sera suffisant pour entraîner une opinion ferme et précise.

NOTE

Cette thèse était terminée, prête à mettre sous presse, quand parut un dernier article de Gunsett sur les doses biologiques. L'auteur estime, et nous sommes en accord avec lui dans ce travail, que l'on ne peut passer de l'unité Solomon à l'unité Behnken à l'aide d'un simple coefficient dans le cas *des mesures courantes effectuées avec des chambres pratiques*. La suite de l'article nous montre bien que les discussions ne sont pas encore closes puisque Gunsett conclut qu'il est indispensable de ne pas abandonner actuellement la notation en R Solomon. Nous ne sommes pas tout à fait de cet avis et nous pensons avoir montré dans ce travail que les gros écarts entre la dose biologique allemande mesurée dans l'air après étalonnage de l'appareillage et la dose mesurée avec une petite chambre sur la peau, qui semblent extraordinaires et inexplicables à M. Gunsett, disparaissent quand on tient compte du rayonnement diffusé.

M. Gunsett veut en tenir compte dans son article, mais nous ne comprenons pas comment il puisse donner un chiffre fixe de 18,75 p. 100 pour un champ de 42 centimètres carrés et filtre de 0,5 Cu et de 20 p. 100 pour un champ de 81 centimètres carrés, étant donné que le rayonnement diffusé varie avec chaque malade et suivant l'épaisseur de tissus irradiés. Le simple rapport des doses dans l'air et sur la peau ne suffit pas pour caractériser le rayonnement diffusé puisque même dans l'air

Gunsett, *L'évaluation en unités r électrostatiques et en unités R Solomon des réactions cutanées avec quelques remarques sur la dépendance de la longueur d'onde du nombre d'r correspondant à une même réaction cutanée* (*Journal de radio et électro*, juin 1929, t. XIII, n° 6, p. 333 à 336, une figure).

un rayonnement diffusé assez important semble enregistré par la chambre d'ionisation surtout si on commet l'erreur de faire cette mesure dans l'air sans limiter le faisceau d'irradiation.

Nous pensons et nous avons montré qu'il est à peu près impossible de déduire des mesures faites dans l'air avec une grande chambre une valeur physique des doses biologiques et la formule que nous avons donnée n'est qu'approchée. Il ne nous paraît pas étonnant qu'entre les chiffres donnés par les Allemands, qui sont une mesure de rayonnement sortant de l'appareil et reçue en un point déterminé, et les doses mesurées avec une petite chambre dans la pratique courante tenant compte de toute la technique d'irradiation, il y ait des différences inattendues et même des divergences suivant les expérimentateurs. Il ne faut donc pas s'étonner de trouver par les méthodes allemandes des chiffres nettement inférieurs aux nôtres, puisqu'ils ne tiennent pas compte du rayonnement additionnel que leur fournit la nature.

En faisant les mesures sur le malade lui-même, nous pensons qu'il est possible de trouver un nombre à peu près fixe d'*r* électrostatiques correspondant aux réactions biologiques et en particulier à la dose épidermicide. On comprend très bien que dans les différents cas la quantité de rayonnement donné par le tube soit variable.

Les Allemands et différents auteurs ont pu donner des chiffres fixes en faisant leurs mesures dans l'air parce qu'ils ont adopté une unité érythème variable laissant une large marge d'appréciation personnelle.

CONCLUSIONS

I. — Pour la détermination des doses biologiques, il est nécessaire d'éliminer les chambres d'ionisation étalonnées avec du radium.

II. — Les grandes chambres d'ionisation qui sont théoriquement les plus précises ne nous donnent que des mesures dans l'air, et, pour déterminer un équivalent physique d'un effet biologique cutané, il faut tenir compte du rayonnement diffusé dépendant lui-même de nombreux facteurs dont l'étude détaillée nous a montré toute l'importance.

III. — On peut donner par le calcul une formule approchée, mais cette formule, comme toutes les formules en biologie, ne permet pas de déterminer exactement les effets biologiques étant donné que ces derniers varient avec les individus.

IV. — Il n'en résulte pas que les doses biologiques, et en particulier la dose épidermicide, n'existent pas. En mesurant sur la peau du malade, au cours du traitement, avec une petite chambre pratiquement indépendante de la longueur d'onde le rayonnement total (incident + diffusé), on trouve un chiffre à peu près fixe que nous sommes en train de déterminer actuellement.

V. — La dose érythème variable et surtout mal définie ou plutôt difficile, sinon impossible à définir, semble devoir être abandonnée.

VU : *Le Doyen,*
C. SIGALAS.

VU, BON A IMPRIMER
Le Président,
RÉCHOU.

VU ET PERMIS D'IMPRIMER :
Bordeaux, le 15 juillet 1929.
Le Recteur de l'Académie,
F. DUMAS.

BIBLIOGRAPHIE

- ANCEL (Suzanne). — De l'effet du fractionnement des doses de rayons X sur des graines germées. *C. R. des séances de la Soc. de biol.*, Paris, 27 janv. 1928, t. XCVIII, n° 3, p. 223-224.
- AUGER. — Etude expérimentale des directions d'émission des photoélectrons. *Journ. de phys. et Le radium*, t. VIII, févr. 1927, p. 85 à 92.
- AUGER et PERRIN. — La répartition dans l'espace des directions d'émission des photoélectrons. *Journ. de phys. et Le radium*, série VI, t. VIII, févr. 1927, p. 93-112.
- BEATHY. — The ionisation of heavy gases by X Rays, *Proc. Roy. Soc.*, 1911, 85, S. 230.
- BECKER et HOLTHUSEN. — Über die Trägereizeugung hochfrequenter Wellenstrahlung in abgeschlossenen Gasräumen. *Ann. Der. Phys.*, 1925, 64, E. 625, *Strahlentherapie*, avril 1921, cahier 2, p. 331-360.
- BÉCLÈRE. — Présentation de l'ionomètre de Solomon. *Bull. de l'Acad. de méd.*, juill. 1921, n° 27, p. 3.
- Première note sur le dosage en radiothérapie avec l'ionomètre de Solomon. *Bull. Soc. radiol.*, déc. 1921, p. 182-185.
- BÉCLÈRE. — L'unification du dosage en radiothérapie. *Bull. de la Soc. de radiol. méd.*, juill. 1924, n° 11, p. 151.
- L'érythème cutané et la dose dite érythème en radiothérapie. *Journ. de radiol. et d'électr.*, juin 1925, p. 275.
- La cumulation des doses en radiothérapie. *Journ. de radiol. et d'électr.*, Paris, sept. 1925, p. 473-476.
- Sur l'unification internationale des mesures de dosage en roentgenthérapie. *Journ. de radiol. et d'électr.*, Paris, oct. 1926, p. 125-128, -

- La discordance des mesures pour l'évaluation de l'unité de dose radiothérapique en Allemagne et aux Etats-Unis. *Journ. de radiol. et d'électr.*, oct. 1927, t. X, p. 535-539.
- BÉCLÈRE et SOLOMON. — Présentation d'un étalonneur ionométrique. *Bull. de la Soc. de radiol.*, mai 1922, p. 129.
- BEHNKEN. — Maßnahmen zur standardisierung der Röntgendosismessung in Deutschland., *Fortschr. a d. Geb der Roentgenstrahlen*, 1924, p. 479.
- *Strahlentherapie*, 1925, liv. XX, p. 115 à 120.
- La détermination absolue de l'unité de dose « Roentgen » à la Physikalisch-Technischen-Reichsanstalt. *Strahlentherapie*, liv. XXVI, cahier 1, 1927, p. 79-100.
- BEHNKEN et JAEGER. — Jaugeage de dosimètres de Roentgen avec du radium. *Strahlentherapie*, vol. XXIX, cahier III, p. 483-502, 18 fig.
- BEAUMEISTER. — Les mesures en radiothérapie. *Acta radiologica*, vol. XI, fasc. 45, p. 418-429.
- BISSON. — L'unité R internationale théorique et pratique. Congr. de l'Assoc. franç. pour l'avancement des sciences, La Rochelle, juill. 1928.
- *Journ. de radiol. et électr.*, avril 1929, t. XIII, n° 4, p. 248-250.
- *Arch. d'électr. méd. et de phys. du cancer*, Bordeaux, juin 1928, 36^e année, n° 537, p. 262-264.
- BREITLANDER. — Quelle est l'importance du rayonnement diffusé additionnel? *Strahlentherapie*, vol. XXIII, fasc. 1, 1926, p. 79-88.
- BREITLANDER et JANSSEN. — Mesures ionométriques comparatives. *Strahlentherapie*, vol. XXII, fasc. 2, 1926, p. 263-279.
- DE BROGLIE. — Les rayons X. Conférence-rapport. *Presse universitaire*, Librairie Blanchard, Paris, 1922.
- CALABRESE. — Su Alcune coordinate fisiche di dosaggio in radiotherapia. *Arch. di radiol. Napoli.*, 1925, n° 1, p. 388 à 390.
- CARLSTEN. — Quelques expériences pratiques avec le dosimètre de Baastrup-Johnson. *Acta radiologica*, vol. IX, n° 47, févr. 1928, p. 98-104, 1 fig.

- CHANDEBOIS. — L'ionométrie médicale. Th. méd., Paris, 1923.
- CHAOUŁ. — Über dosimétrie in der Röntgentherapie und über ein direktzeigendes-dosimeter. *Münch Med. Wochens.*, 1926, p. 518 à 520.
- CLARK. — Apparatus for making roentgen ray dosage measurements. *Am. J. Roentgenol.*, 1927, p. 667-670.
- CLUNG. — The effect of temperature on the ionisation produced in gases by the action of roentgenrays. *Phil. Mag.*, 1904, 7, S. 81.
- COLIEZ. — Considérations générales sur la répartition des rayons X dans les tissus. *Bull. de la Soc. de radiol.*, déc. 1923, p. 262.
- Sur quelques causes d'erreurs des mesures ionométriques en radiothérapie. *Journ. de radiol. et électr.*, juin 1923, p. 267.
- COMPTON. — A quantum theory of the scattering of X rays by light elements. *Phys. rev.*, 1923, 21, n° 2, p. 207.
- Absorption measurements of the change of wave length accompanying the scattering of rays X. *Phil. Mag.*, 1923, 46, n° 275, p. 897.
- CROWTHER. — On the relation between ionization and pressure for Roentgen rays in different gases. *Proc. Cambr.*, 1908, p. 34.
- DAUVILLIER. — Sur un dosimètre absolu à lecture directe pour rayons X pénétrants. *Rev. gén. d'électr.*, déc. 1923, p. 887-902.
- *Journ. de radiol. et électr.*, oct. 1923, p. 470.
- La technique des rayons X. Conférences-rapports de documentation sur la physique, Paris, 1924, Librairie de la Société « Journal de physique ».
- Sur l'action biologique des rayons X de diverses λ . *C. R. de l'Acad. des sc.*, 28 déc. 1925, p. 1130.
- Le dosage des rayons X. *British J. radiol.*, Londres, 1926, XXII, p. 115-127. *Strasbourg médical*, 85^e année, n° 5, mars 1927. *Journ. de radiol. et électr.*, Paris, mars 1927, t. XI, n° 3, p. 149-150.

- DECLAIRFAYT et VAN NIFTRIK. — Contribution au choix d'une unité radiothérapique internationale. Congr. intern. de radiol. de Stockholm, juill. 1928, in *Arch. d'électr. méd. et de phys. du cancer*, janv. 1929, 37^e année, n° 543, p. 28-29.
- Contribution à la quantitométrie radiothérapique. Une méthode de radiodensimétrie absolue. *L'actinotérapie*, vol. VII, fasc. 1, avril 1928, p. 10-16.
- DOGNON. — La mesure et l'action biologique des rayons X de différente longueur d'onde. Th. méd. Strasbourg, 1925.
- Etude comparative de diverses chambres d'ionisation pour des rayons de longueurs d'onde différentes. *Journ. de radiol. et d'électr.*, mai 1924, p. 198.
- DUANE. — Dosage des rayons X et sa mesure. Congr. intern. de radiol. de Stockholm, juill. 1928, in *Arch. d'électr. méd. et de phys. du cancer*, Bordeaux, déc. 1928, 36^e année, n° 542, p. 473.
- DUANE et LORENZ. — Chambre d'ionisation standard pour les mesures de rayonnement X. *Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen*, t. XXXVII, fasc. 5, mai 1928, p. 691-696, 7 fig.
- *The American Journal of Roentgenology and radium-therapy*, vol. XIX, n° 5, mai 1928, p. 461-469, 7 fig.
- DUBOST. — Les bases physiques de la radiothérapie. Les actualités physiothérapiques, Gauthier-Villars, Paris, 1928, 1 vol. in-8°, 99 p., 50 fig.
- DUFOUR. — Mesures absolues sur les actions électriques des rayons de Roentgen. *Arch. Soc. et Nat.*, 1896, p. 512.
- ENZO-PAGNO-VANONI. — Les bases physiques des mesures de rayons X en radiothérapie profonde. *La rad. méd.*, mai 1928, vol. XV, fasc. 5, p. 495.
- ENGSTER et ZUPPINGER. — Sur la technique des mesures des rayons de Roentgen. Etude comparative entre l'appareil de Küstner et le dosimètre de Siemens. *Fortschritte auf dem Gebiete der Roentgenstrahlen*, vol. XXXVII, fasc. 2, févr. 1928, p. 194-212, 19 fig.
- FAILLA. — Critérium pour le plan d'une chambre d'ionisation stan-

- dard. Congr. radiol. de Stockholm, juill. 1928, in *Arch. d'électr. méd. et de phys. du cancer*, Bordeaux, déc. 1928, n° 542, p. 473.
- FRANK. — Dosimetry of extremely soft rays. *Fortschritte auf dem Gebiete der Roentgenstrahlen*, vol. XXXVI, nov. 1927, p. 1070-1080.
- FRIEDRICH. — L'effet Compton et sa signification en radiothérapie. *Strahlentherapie*, t. XXIV, fasc. 2, 1926, p. 193-217.
- GAERTNER. — Sur la mesure de l'intensité du rayonnement de Roentgen par la méthode d'ionisation. *Strahlentherapie*, vol. XXII, fasc. 3, 1926, p. 379-417.
- GAWALOWSKI. — Comparaison entre les unités R français et R allemand pour les rayonnements et les filtres utilisés en dermatologie. II^e Congr. intern. de radiol. de Stockholm, juill. 1928, in *Arch. d'électr. méd. et de phys. du cancer*, Bordeaux, janv. 1929, 37^e année, n° 543, p. 31-32.
- GLASSER. — Quelques considérations sur le problème de la dosimétrie des rayons X. *Strahlentherapie*, 1928, vol. XXVII, fasc. 4, p. 740-745.
- La détermination absolue de l'unité de dose (1 Roentgen) à la Station d'étalonnage de Cleveland Clinic. *Strahlentherapie*, vol. XXVII, 1927, p. 160-168.
- GLASSER et BEASLEY. — Dosimétrie des rayons limités avec le photomètre Wintz-Kump. *Strahlentherapie*, vol. XXVIII, fasc. 3, p. 610-614, 2 fig.
- GLASSER et MEYER. — Doses d'érythème exprimées en unités Roentgen. *Strahlentherapie*, vol. XXIV, fasc. 4, 1927, p. 710-714.
- Doses d'érythème en unités de Roentgen. *Strahlentherapie*, vol. XXIII, fasc. 2, 1926, p. 361-365.
- GLASSER et PORTMANN. — L'unification « de la dose » en radiothérapie. *Amer. Journ. of Roentgenol. and Rad. Ther.*, XIX, n° 1, janv. 1928, p. 47.
- Les bases physiques et cliniques de la Roentgenthérapie à rayons limités (ultra-mous). *Amer. Journ. of Roentgenol. and Rad. Ther.*, XIX, 1928, p. 442.
- GLASSER et REITTER. — De l'influence des radiations réfléchies sur

- le dosage en surface en radiothérapie (*Amer. Journ. of Roentgenol. and Rad. Ther.*, XVI, n° 4, juill. 1926, p. 43).
- GLASSER et SEITZ. — Le condensateur dosimètre. *Strahlentherapie*, vol. XXIX, fasc. 3 juill. 1928, p. 549-555, 4 fig.
- La valeur des unités R pour la standardisation de la dose dans la pratique radiologique. *Journ. de radiol. et électr.*, sept. 1928, t. XII, n° 9, p. 421-428.
- GLOCKER. — La loi fondamentale de l'action physique des rayons de Roentgen de différentes longueurs d'ondes et ses rapports avec l'effet biologique. *Strahlentherapie*, vol. XXVI, fasc. 1, 1927, p. 147-155.
- GLOCKER et KAUPP. — Petite chambre d'ionisation dont l'étalonnage en unités R est indépendante de la qualité de rayonnement diffusé dans le fantôme à eau. *Strahlentherapie*, vol. XXIII, fasc. 3, 1926, p. 447-462.
- 2^e communication. *Strahlentherapie*, vol. XXIV, fasc. 3, 1927, p. 517-523.
- 3^e communication. *Strahlentherapie*, vol. XXVI, fasc. 1, 1927, p. 156-157.
- GREBE. — La signification énergétique de l'unité R. *Strahlentherapie*, vol. XXII, fasc. 5, 1926, p. 438-444.
- GREBE et BICKENBACH. — Le rapport entre l'unité Ra et l'unité de Sabouraud. *Strahlentherapie*, 1927, vol. XXVII, fasc. 2, p. 358-363.
- GREBE et GAERTNER. — La détermination de l'unité R à l'Institut Roentgen de Boon. *Strahlentherapie*, 1928, vol. XXVII, fasc. 4, p. 728-733.
- GRUYER. — Contribution à l'étude de l'état actuel de la quantitométrie des rayons X. Th. méd. Nancy, 1923.
- GUILLEMOT. — Electrologie et radiologie. Paris, Marson, éditeur, 1923, 1 vol. de 642 p.
- GUNSETT. — Les unités quantitométriques dans la pratique de la roentgentherapie. Etat actuel de la question. Rapport du Congr. de l'Assoc. franç. pour l'avancement des sciences, Constantine, 1927. Compte rendu in *Arch. d'électr. méd. et de phys. du cancer*, Bordeaux, févr. 1927, 35^e année,

n° 524, p. 57 à 95, 25 fig.; in *Journ. de radiol. et électr.*, juill. 1927, t. XI, n° 7, p. 353-381, 25 fig.

GUNSETT ANCEL et Mme SPACK. — Des doses égales incidentes de rayons X de différentes longueurs d'ondes ont-elles le même effet biologique? *C. R. de la Soc. de biol.*, 1928, t. XCIV, p. 850.

GUNSETT et COHN. — A propos de la comparaison entre l'unité R française et l'unité R allemande. *Arch. d'électr. méd. et de phys. du cancer*, Bordeaux, janv. 1928, 36^e année, n° 533, p. 1 à 5, 1 fig.

GUNSETT et Mme SPACK. — La dosimétrie ionométrique au Centre anticancéreux de Strasbourg (Etalonnage en r électrostatique de la chambre de Solomon. Action biologique d'un nombre égal d' r de rayons de λ différentes sur la peau et sur des graines en germination). Congr. intern. de radiol. de Stockholm, in *Arch. d'électr. méd. et de phys. du cancer*, Bordeaux, juill. 1928, 36^e année, n° 538, p. 273-284, 4 fig.

— La dosimétrie ionométrique du Centre anticancéreux de Strasbourg. Congr. intern. de radiol. de Stockholm, juill. 1928, in *Arch. d'électr. méd. et de phys. du cancer*, Bordeaux, janv. 1929, 37^e année, n° 543, p. 25-26.

HASE et KUSTNER. — Sur la conservation de l'unité R. *Strahlentherapie*, vol. XXIX, fasc. 4, p. 745-758, 1 fig.

HAUSSER et SCHLECHTER. — La dose d'érythème cutanée considérée comme mesure biologique de l'action des radiations. *Strahlentherapie*, 1927, vol. XXXVII, fasc. 2, p. 348-352.

HAZEN et MILSTEAD. — L'épilation considérée comme un étalon biologique pour doser les rayons X. *Arch. de dermat. et syph.*, Chicago, 1926, vol. XIII, p. 230-233.

HESS. — Les doses nécessaires exprimées en unités R pour produire le même érythème avec des radiations de qualités différentes. *Strahlentherapie*, 1927, vol. XXVII, fasc. 5, p. 146-154.

— 2^e communication. *Strahlentherapie*, 1927, vol. XXVII, fasc. 4, p. 734-739, 3 fig.

- Dose érythème et unité Sabouraud. *Strahlentherapie*, vol. XXIX, fasc. 4, p. 803-805, 1 fig.
- HOLZNECHT. — Le dosage des rayons X dans la pratique. *Munchener-Medizinische Wochenschrift*, nov. 1926, vol. LXXIII, n° 46, p. 1913.
- JACOB et LIECHT. — Mesure de la qualité et de l'intensité des rayons isolés. *Strahlentherapie*, vol. XVII, fasc. 4, p. 711-727, 11 fig.
- JANSSON. — Recherches cytologiques sur l'influence biologique des rayons X. Congr. intern. de radiol. de Stockholm, juill. 1928. Compte rendu in *Arch. d'électr. méd. et de phys. du cancer*, janv. 1926, 37^e année, n° 543, p. 26.
- JAUBERT de BEAUJEU. — Recherches sur la mesure des quantités de rayons X par la méthode électroscopique. Th. méd. Lyon, 1909-1910.
- JOLY. — Mesures ionométriques. *Bull. de la Soc. de rad.*, avril 1924, p. 90.
- KAPLAN. — A comparison between the german erythémadose as measured on the Solomon iontoquantitometer. *Journ. de rad. et d'électr.*, févr. 1925, p. 88.
- KRAUSE. — Traité de roentgentherapie. Georges Thienne, éditeur, Leipzig, 1927, vol. III, p. 511-1044.
- KUSTNER. — Le dispositif d'étalonnage de Göttingen dosimètre transportable à sensibilité constante. *Strahlentherapie*, 1927, vol. XXIV, fasc. 3, p. 501-516.
- A combien d'unités R correspond la dose d'érythème. *Strahlentherapie*, 1927, vol. XXVI, fasc. 1, p. 120-146.
- La détermination absolue de l'unité R avec le grand dispositif d'étalonnage de l'auteur. *Strahlentherapie*, 1927, vol. XXVIII, fasc. 2, p. 331-347.
- Etalonnage d'appareillages et d'ionomètres en unités électrostatiques à l'aide de l'appareil d'étalonnage Küstner. *Arch. d'électr. méd. et de phys. du cancer*, Bordeaux, août-sept. 1928, 36^e année, n° 539, p. 332-338, 6 fig.
- LAMARQUE. — Bases physiques de la radiothérapie profonde. 1 vol., Baillière et fils, éditeurs, Paris 1923, p. 73-83.

LEDoux-LEBARD et DAUVILLIER. — La physique des rayons X. Gauthier-Villars, 1921.

— La technique des rayons X. *Presse universitaire*, 1923.

LERBES. — Instruments de mesure des rayons X à lecture directe. *Journ. de phys.*, févr. 1924, p. 108.

LOYSEL et LOMON. — La physique des rayons X, Paris, 1926.

MAISON et MASY. — Au sujet du mécanisme d'action des rayons X sur les graines. *C. R. de la Soc. de biol.*, t. XCVIII, n° 41, 1928, séance 25 févr. 1928, p. 886-888.

MARTIUS. — La mesure des rayons X en unités R. *Acta radiologica*, numéro spécial, I. VII. *Journ. de radiol. et électr.*, 1928, t. XII, n° 4, p. 193.

MIESCHER. — Radiobiologie de la peau saine et de la peau malade. *Strahlentherapie*, 1927, vol. XXVII, fasc. 2, p. 257-280.

MIRAMOND DE LAROQUETTE. — Mesure par unité de surface et unité de volume des rayons X incidents, absorbés et diffusés. *Bull. et mém. de la Soc. de radiol. méd. de France*, Paris, 1926, XIV, p. 87-92.

— Expériences pratiquées que les rayons diffusés leur mesure et leur importance en radiothérapie. *Arch. d'électr. méd. et de phys. du cancer*, Bordeaux, nov. 1927, 35^e année, n° 531, p. 428-432, 1 fig.

— Courbes et tableaux numériques moyens en unités R centimétriques des quantités incidents et absorbés et des doses érythèmes des divers rayonnements X employés en radiothérapie. Congr. de l'Assoc. franç. pour l'avancement des sciences, Constantine, 1927, in *Arch. électr. méd. et de phys. du cancer*, Bordeaux, août-sept. 1927, 35^e année, n° 529, p. 361-365.

— MURDOCH et STAHEL. — Etude comparative de deux unités dosimétriques des rayons Roentgen. L'R français (Solomon) et l'R allemand (Behnken). *Arch. d'électr. méd. et de phys. du cancer*, Bordeaux, mars-avril 1927, 35^e année, n° 525, p. 129-136.

— 2^e communication. *Arch. d'électr. méd. et de phys. du cancer*, Bordeaux, oct. 1927, 35^e année, n° 530, p. 393-396.

NADAUD. — Considérations théoriques et pratiques sur l'emploi

- actuel de la radiothérapie profonde. *Journ. de radiol. et d'électr.*, avril 1922, p. 171.
- 2^e communication. *Journ. de radiol. et d'électr.*, juin 1922, p. 264.
- 3^e communication. *Journ. de radiol. et d'électr.*, sept. 1922, p. 405.
- Résultats fournis par quelques mesures ionométriques. *Journ. de radiol. et d'électr.*, janv. 1924, p. 17.
- A propos du réactif quantitatif au platino-cyanure de targum. *Arch. d'électr. méd. et de phys. du cancer*, Bordeaux, 1926, p. 197-199.
- POHLE. — Etudes sur l'érythème roentgenien de la peau humaine. Modification des capillaires de la peau après exposition aux rayons de roentgen filtrés et aux radiations ultra-violettes. *Radiology*, VII, n° 3, mars 1927, p. 185.
- PONZIO. — Mesures ionométriques dans des milieux d'absorption homogènes. Congr. intern. de radiol. de Stockholm, juill. 1928, in *Arch. d'électr. méd. et de phys. du cancer*, Bordeaux, janv. 1929, 37^e année, n° 543, p. 32.
- PROFITLICH. — La longueur d'onde et ses rapports avec la chambre d'ionisation du dosimètre de Siemens pour des rayonnements au-dessous de 90 kv max. *Fortschritte auf dem Gebiete der Roentgenstrahlen*, vol. XXXVII, fasc. 2, févr. 1928, p. 262-263, 1 fig.
- PUGNO-VANONI. — Eléments de physique préliminaires sur les mesures des rayons X pour la radiothérapie profonde. *Radiologica medica*, vol. XV, 403, mai 1928, p. 495-530, 3 fig.
- QUIVY. — L'ionométrie des rayons X. Th. Paris, 1926.
- RAJEWSKY. — Contribution à l'étude du rayonnement diffusé de retour. *Strahlentherapie*, 1927, vol. XXVI, fasc. 1, p. 158-161. Apport à la dispersion de retour. *Strahlentherapie*, 1928, vol. XXX, fasc. 4, p. 720-730, 10 fig.
- REISS. — Comparaison de l'unité R française et de l'unité R allemande, cette dernière étant mesurée à l'aide d'une grande chambre d'ionisation. *Arch. d'électr. méd. et de phys. du cancer*, Bordeaux, avril 1927, 35^e année, n° 525, p. 137-140, 1 fig.

- RUMP. — Rayonnement diffusé dans l'air. *Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen*, vol. XXVIII, fasc. 1, p. 59-67, 6 fig.
- SAGET. — La mesure de l'intensité du rayonnement X. L'intensiomètre. Bruxelles, Imprimerie médicale et scientifique, 1923 (Extrait du *Journ. de radiol. et d'élect.*).
- SARALEGUI et VIERHELLER. — Remarques sur la quantité et la qualité de la radiation dispersée X et sur son influence sur la répartition quantitative et qualitative de la radiation totale dans l'eau. *Strahlentherapie*, vol. XXIX, p. 556-580, 10 fig.
- SCHNEIDER. — La dose de rayons de Roentgen exprimée en unités R. *Strahlentherapie*, 1926, vol. XXXIII, fasc. 3, p. 445-487.
- De l'importance des mesures anatomiques exactes pour la radiothérapie. *Strahlentherapie*, vol. XXVII, fasc. 4, p. 750-756, 4 fig.
- SIEVERT. — Mesures de l'intensité de rayons X faites dans divers hôpitaux au moyen d'un instrument spécial d'ionisation en comparant les doses d'érythème avec l'unité R. *Acta radiologica*, numéro spécial, vol. VII. Anal. du *Journ. de radiol. et d'électr.*, avril 1928, t. XII, n° 4, p. 193.
- Standardisation du dosage de rayons X en Suède. Congr. intern. de radiol. de Stockholm, 1928, in *Arch. d'électr. méd. et de phys. du cancer*, Bordeaux, déc. 1928, 36^e année, n° 542, p. 473.
- SOLOMON. — Dispositif ionométrique radiologique. *C. R. de l'Acad. des Sciences*, 4 juill. 1921.
- La mesure des rayons de Roentgen. *Paris médical*, 4 févr. 1922, p. 36.
- A propos de la comparaison entre l'unité R française et l'unité R allemande. *Arch. d'électr. méd. et de phys. du cancer*, Bordeaux, mai 1927, p. 208-209.
- SOLOMON. — Sur la nécessité de la standardisation des chambres d'ionisation utilisées en dosimétrie radiologique. *Journ. de radiol. et d'électr.*, Paris, mai 1927, t. XI, n° 5, p. 286-290.
- La notation de la quantité de rayonnement en unités R. *Bull. de la Soc. de radiol. méd.*, nov. 1927, n° 143, p. 301.

- 2^e communication. Congr. intern. de radiol. de Stockholm, juill. 1928, in *Arch. d'électr. méd. et de phys. du cancer*, Bordeaux, janv. 1929, 37^e année, n^o 543, p. 29-30.
- STRAUSS. — Le « mékapiou » quantitomètre intégrateur avec contrôle automatique. *Strahlentherapie*, 1926, vol. XXIV, fasc. 2, p. 248-364.
- THIBONNEAU. — Evaluation rapide de l'intensité d'un rayonnement X par la lecture de l'ionomètre de Solomon. *Bull. Off. de la Soc. franç. d'électr. et de radiol.*, mai 1928.
- VON FROSSEL (Irène). — Source d'erreur dans la mesure des doses de rayons X. *Strahlentherapie*, 1928, vol. XXX, fasc. 4, p. 756-758.
- WALCH, DEN HOED et KOOPMAN. — Comparaison de l'unité absolue R avec l'unité R française. *Strahlentherapie*, vol. XXIX, fasc. 3, juill. 1928, p. 524-526.
- WINTZ. — L'effet Compton en radiothérapie profonde. *Strahlentherapie*, vol. XXIV, fasc. 2, 1926, p. 218-226.
- WINTZ et RUMP. — Action biologique des différentes qualités de rayons X. *Strahlentherapie*, 1926, vol. XXII, fasc. 3, p. 451-459.
- WOLFERS. — Eléments de la physique des rayons X. Hermann, Paris, 1928, p. 175-204.
- WUCHERPFENNING. — Le dosage avec la pastille de Sabouraud. *Strahlentherapie*, 1927, vol. XXVII, fasc. 2, p. 353-357.
- Les modifications de la dose en radiothérapie superficielle dues aux variations de tension du réseau. *Strahlentherapie*, 1926, vol. XXII, fasc. 1, p. 172-183.
- Le dosage avec la tablette au platino-cyanure de baryum. *Strahlentherapie*, vol. XXX, fasc. 1, p. 112-122, 3 fig.
- WYMEN. — L'hyperhémie comme sensibilisation en roentgenthérapie. *Strahlentherapie*, 1926, vol. XXII, fasc. 3, p. 503-513.
- XARPELL. — L'emploi de la paraffine comme moyen de diffusion en radiothérapie profonde. *Strahlentherapie*, 1926, vol. XXII, fasc. 2, p. 237-262.

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
INTRODUCTION.....	13
PREMIÈRE PARTIE. — LA QUANTITOMÉTRIE PHYSIQUE.....	15
CHAPITRE I. — <i>Historique des méthodes de mesures</i>	15
I. — Méthodes chimiques de mesures.....	15
II. — Méthodes physiques de mesures.....	17
CHAPITRE II. — <i>Les unités ionométriques</i>	21
I. — Unité Solomon.....	22
II. — Unité électrostatique.....	23
CHAPITRE III. — <i>Étude critique des appareils de mesures en vue de l'évaluation des doses biologiques</i>	24
I. — Dispositifs de lecture.....	25
II. — Les chambres d'ionisation.....	25
DEUXIÈME PARTIE. — LA QUANTITOMÉTRIE BIOLOGIQUE.....	31
CHAPITRE I. — <i>Les unités biologiques</i>	31
I. — Les premières unités radiologiques.....	31
II. — La dose érythème.....	31
III. — La dose épidermicide.....	33
CHAPITRE II. — <i>Étude des facteurs agissant pour l'obtention de la dose de radioépidermite et des doses biologiques en général</i>	34
I. — Quantité de rayonnement et intensité.....	35
II. — Quantité de rayonnement et voltage.....	37
III. — Quantité de rayonnement et filtre.....	38
IV. — Quantité de rayonnement et épaisseur des tissus irradiés.....	41
V. — Quantité de rayonnement et surface irradiée.....	43
VI. — Quantité de rayonnement et longueur d'onde.....	46
CHAPITRE III. — <i>Les conditions de détermination des unités biologiques</i>	48
CHAPITRE IV. — <i>La valeur de la dose épidermicide</i>	53
NOTE.....	55
CONCLUSIONS.....	57
BIBLIOGRAPHIE.....	59

